

Die Rohstoffe der seltenen Erden

**Eine Untersuchung
über Vorkommen, Nutzung und Märkte**

Inaugural-Dissertation

**zur Erlangung der Doktorwürde
des Fachbereichs Geowissenschaften
der Freien Universität Berlin**

vorgelegt von

Günter Kross

aus Jagow

1973



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550802_0025

Die Rohstoffe der seltenen Erden

**Eine Untersuchung
über Vorkommen, Nutzung und Märkte**



**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
des Fachbereichs Geowissenschaften
der Freien Universität Berlin**

**vorgelegt von
Günter Kross
aus Jagow**



1. Referent: Prof.Dr.Dr.W. Gocht

2. Referent: Prof.Dr.A. Wilke

Tag der mündlichen Prüfung: 27.4.1973

Vorwort

Diese Dissertation paßt sich in den Rahmen der wirtschafts-geologischen Arbeitsrichtung am Institut für Geologie ein, die von Herrn Prof. Gocht begründet wurde und fortgeführt wird. Ihm, der die Arbeit betreute, habe ich vor allem für die engagierte und gründliche Art zu danken, mit der er dieser Aufgabe nachkam.

Herrn Prof.M. Richter, der zu Beginn die Betreuung übernahm, möchte ich besonderen Dank entrichten für die aufmunternde Art, mit der er es immer wieder verstand, mich für die Sache zu begeistern.

Der PREUSSAG AG bin ich für anfängliche finanzielle Unterstützung zu Dank verpflichtet. An dieser Stelle möchte ich Herrn Dr. Rellensmann nennen, der nicht nur Anstoß und Anregungen für die Arbeit gab, sondern sich auch für deren materielle Förderung einsetzte.

Darüber hinaus bin ich Frl.H. Nowak, die bei der redaktionellen Überarbeitung half, Herrn Stafunski und vielen anderen für unzählige Handreichungen und Ratschläge mit Dank verbunden.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
I	<u>EINLEITUNG</u>
I,1	AUFGABENSTELLUNG UND ARBEITSBEDINGUNGEN . . 4
I,2	ZUR KLÄRUNG EINIGER BEGRIFFE 6
II	<u>DIE NATÜRLICHEN ROHSTOFFVORKOMMEN UND</u> <u>DIE GEWINNUNG DER ROHSTOFFKONZENTRATE</u>
II,1	ZUR GEOCHEMIE DER SELTENEN ERDEN 8
II,1,1	Grundtatsachen 8
II,1,2	Fraktionierungseffekte in der Erdkruste 10
II,1,3	Die Minerale 13
II,1,4	Anreicherungen 20
II,2	LAGERSTÄTTEN, BERGBAU UND PRODUKTION . . . 24
II,2,1	Lagerstätten in Alkaligesteinen 26
II,2,2	Karbonatite 36
II,2,3	Lagerstätten der granitischen Abfolge . 61
II,2,4	Vorkommen in Metamorphiten 69
II,2,5	Lagerstätten in Sedimenten 73
II,2,6	Sonstige 102
II,3	DAS WELTVORSTOFFDARGEBOT UND SEINE ZUSAMMENSETZUNG 107
II,4	ZUR ÖKONOMISCHEN GRUNDSITUATION DER LAGERSTÄTTEN 112
II,4,1	Einführung 112
II,4,2	Seltene Erden als Hauptprodukte 113
II,4,3	Seltene Erden als Nebenprodukte 115
II,4,4	Seltene Erden als Nebengehalte 119
II,5	TENDENZEN AUF DEM VORSTOFFSEKTOR 121

III	<u>DIE VERARBEITUNG DER VORSTOFFE</u>	
III,1	AUFSCHLUSSVERFAHREN FÜR DIE MINERALISCHEN ROHSTOFFKONZENTRATE	124
III,1,1	Für Monazitkonzentrate	124
III,1,2	Für Bastnäsitkonzentrat	127
III,1,3	Für Xenotimkonzentrate	128
III,1,4	Die direkte Chlorierung der Erze . . .	129
III,2	ZUR SEPARATIONSTECHNOLOGIE	130
III,2,1	Gruppentrennungsverfahren	130
III,2,2	Trennung durch Ladungsänderung	131
III,2,3	Amalgam Extraktion	132
III,2,4	Fraktionierte Fällung und fraktionierte Kristallisation	132
III,2,5	Ionenaustauschverfahren	133
III,2,6	Lösungsmittlextraktion	135
III,3	DIE DARSTELLUNG DER METALLE	137
III,3,1	Metallthermische Prozesse	137
III,3,2	Schmelzflußelektrolyse	138
III,4	DIE GRUNDSTOFFPRODUZENTEN	141
III,4,1	Zur Einführung	141
III,4,2	Die Firmen im einzelnen	144
III,5	GRUNDSTOFFE UND IHRE PREISE	159
IV	<u>VERWENDUNGSGEBIETE UND VERBRAUCH</u>	
IV,1	ENTWICKLUNGEN AUF DER NACHFRAGESEITE . . .	163
IV,1,1	Die ersten Impulse	163
IV,1,2	Stagnation in den fünfziger Jahren . .	164
IV,1,3	Bedarfszuwachs in den sechziger Jahren	166
IV,2	DIE GEGENWÄRTIGEN VERWENDUNGEN	168

	Seite
IV,2,1	Verwendungen für ungetrennte Verbindungen der Seltenen Erden 168
IV,2,2	Die Verwendung der ungetrennten Metalle 169
IV,2,3	Verwendungen für partiell getrennte Verbindungen 171
IV,2,4	Partiell getrennte Metalle 171
IV,2,5	Die Verwendung der separierten Seltenen Erden 172
V	<u>PREISBESTIMMUNGSGRÜNDE AUF DEN MÄRKTEN DER SELTENEN ERDEN</u>
V,1	DIE DETERMINANTEN AUF DEN VORSTOFFMÄRKTEN 178
V,1,1	Die Grundlagen 178
V,1,2	Der Ceriterdenssektor 182
V,1,3	Die Lage bei den Yttererden 187
V,1,4	Fazit 187
V,2	PREISBESTIMMUNG AUF DEM GRUNDSTOFFSEKTOR . 188
V,2,1	Die Beziehung der Grundstoffpreise zu den Vorstoffkosten 188
V,2,2	Preisdeterminanten der Angebotsseite . 190
V,2,2,1	Die Preissenkungen Ende der fünfziger Jahre 190
V,2,2,2	Die Preisabstufungen im Grundstoffangebot 192
V,2,3	Einflüsse der Nachfrage auf das Preisbild 199
V,2,4	Fazit 203
VI	<u>AUSBLICK</u> 204
VII	<u>ZUSAMMENFASSUNG</u> 211
VIII	ANHANG
IX	LITERATURVERZEICHNIS

I EINLEITUNG

I,1 AUFGABENSTELLUNG UND ARBEITSBEDINGUNGEN

Die vorliegende Untersuchung versteht sich als wirtschaftsgeologische Arbeit. Definition und Aufgabenbereich der modernen Wirtschaftsgeologie sind von GOCHT (267) umrissen worden. Danach begreift sie sich als ein interdisziplinärer Wissenschaftszweig zwischen den Wirtschaftswissenschaften, der Geologie im weitesten Sinne und der Bergbaukunde. Sie steht damit im Gegensatz zu der in den angloamerikanischen Ländern als praktische Lagerstättenkunde betriebenen "economic geology" oder zu der ebenfalls enger gefaßten "ökonomischen Geologie" im Sprachgebrauch der DDR.

Im Aufgabenkanon der Wirtschaftsgeologie nimmt "die Analyse von (mineralischen, d.Verf.) Rohstoffmärkten unter besonderer Berücksichtigung der geologisch-lagerstättenkundlichen Bestimmungsgründe für die Struktur- und Preisentwicklung sowie eine darauf basierende Marktprognose"⁺ eine zentrale Stellung ein. Hieran knüpft sich die Intention der vorliegenden Arbeit, eine derartige Untersuchung erstmals für die Märkte der Seltenen Erden zu gestalten.

Trotz vereinzelter, mit Engagement vorgetragener Veröffentlichungen*, die sich um eine breitere Würdigung der für die modernen Industriegesellschaften z.T. erheblichen Bedeutung der "Sondermetalle" (denen auch die Seltenen Erden zugerechnet werden) bemühen, gelang es noch nicht, diese Gruppe von Rohstoffen in das Licht öffentlichen Interesses zu ziehen. Dieser Mangel an Beachtung bedeutet in der Sache mittelbar und unmittelbar eine erhebliche Behinderung für jede mit diesen Metallen sich befassende wissenschaftliche Untersuchung. Ganz besonders dann, wenn - wie hier eine Marktanalyse der Seltenen Erden - nicht

⁺ vgl.: GOCHT (267), S.298

* vgl.z.B.: SOMMERLATTE (290)

auf experimentell gewinnbares Zahlenmaterial sich aufbauen läßt, sondern das Datenfundament der Arbeit ausschließlich aus Veröffentlichungen und Direktanfragen an einschlägig engagierte Unternehmen gezogen werden kann.

So gibt es nur sehr wenige Monographien über die Seltenen Erden, sieht man einmal von den hier nur marginal interessierenden Spezialbereichen Aufbereitungs- und Verwendungsforschung ab. Periodische Marktübersichten sind gleichfalls selten (z.B. im deutschen Sprachraum gibt es keine), und auch im redaktionellen Teil der kompetenten Zeitschriften tauchen einschlägige Nachrichten und Berichte nur sehr sporadisch auf. Dabei fällt die hohe Fehlerhäufigkeit der Meldungen ins Auge, sicher mit ein Ausdruck für die mangelnde Aufmerksamkeit, die man dieser Metallgruppe entgegenbringt; gewiß aber auch sachimmanent angelegt, wenn man in Betracht zieht, daß die Gruppe der Seltenen Erden immerhin 17 Elemente umfaßt, d.i. ungefähr ein Sechstel des Periodensystems!

Als ähnlich gravierend hinderlich erweist sich die weit verbreitete Praxis, die Seltenen Erden in die strategisch wichtigen Metalle einzureihen. Diese Einschätzung mag auf die geochemische Verknüpfung der Seltenen Erden mit dem potentiellen Kernbrennstoff Thorium zurückzuführen sein. Sie besitzt aber auch eine historische Wurzel, insofern als die Ende des 2. Weltkriegs einsetzende Renaissance der Seltenen Erden durch die Entwicklung der Kernspaltungsprozesse bedingt war. Ihre Isotopen traten während der Spaltungsvorgänge in relativ großer Anzahl und Menge auf, und boten sich schon deshalb als Forschungsobjekte an. Überdies interessierten die Lanthaniden, weil ihr Verhalten Rückschlüsse auf die Eigenschaften der bekanntlich schwer verfügbaren, chemisch verwandten Actiniden erlaubte.

Eine Konsequenz dieser Beziehungen ist die Geheimhaltung vieler für eine Marktanalyse wichtiger Daten. So geben z.B. die USA und auch andere Länder ihre Monazitproduk-

tion nicht bekannt. Auch die bereits erwähnten Direktanfragen an die Produzenten erbrachten nur selten annähernd die gewünschte Ausbeute. Von 25 z.T. wiederholt angeschriebenen Unternehmen haben überhaupt nur 11 (44%) geantwortet; lediglich 6 Antwortsendungen (24%) enthielten Informationen, die über das aus Veröffentlichungen beziehbare Maß hinausgingen.

Der hier andeutungsweise dargestellte Sachverhalt einer dürftigen Informationsdichte für den Bereich der Seltenen Erden wirkte allerdings nicht nur beeinträchtigend für das angestrebte Vorhaben, indem das vorliegende Ergebnis sicher nicht alles bietet, was man sich für eine abgerundete Marktanalyse vorstellen kann, sondern er bedeutete zugleich Herausforderung und Anreiz, mit einem Beitrag zu leisten, der geeignet sein kann, eine breitere Aufmerksamkeit auf diese unbekannten Märkte zu lenken, zumal sie vor wenigen Jahren von einer tiefgreifenden Umstrukturierung der Angebotsseite betroffen waren und sich seitdem durch eine auffällig dynamische Weiterentwicklung auszeichneten.

I,2 ZUR KLÄRUNG EINIGER BEGRIFFE

Der Begriff "ROHSTOFF" wird hier häufig untergliedert verwendet. Dabei heißen "VORSTOFFE" die mit physikalischen Verfahren angereicherten mineralischen Rohstoffkonzentrate, die von den Hütten chemisch weiter aufbereitet und veredelt werden. "GRUNDSTOFFE" werden die für den Endverbrauch bestimmten, aus den Vorstoffen erzeugten Produkte der Hütten genannt. Ihre Herstellung verläuft häufig über "ZWISCHENPRODUKTE", die ebenfalls gehandelt werden können.

Die "GRUPPE DER SELTENEN ERDEN" selbst umfaßt die folgenden Metalle (mit lfd.Nr., Ordnungszahl und chemischem Zeichen) und Untergruppierungen:

1.(21)Skandium (Sc)

LANTHANIDEN:

CERITERDEN {	2.(57)Lanthan (La)	} CER-UNTERGRUPPE
	3.(58)Cer (Ce)	
	4.(59)Praseodymium (Pr)	
	5.(60)Neodymium (Nd)	
	6.(61)Promethium (Pm)	
	7.(62)Samarium (Sm)	
YTTERERDEN {	8.(63)Europium (Eu)	} TERBIUM-UNTERGRUPPE
	9.(64)Gadolinium (Gd)	
	10.(65)Terbium (Tb)	
	11.(66)Dysprosium (Dy)	} YTTRIUM-UNTERGRUPPE
	12.(67)Holmium (Ho)	
	13.(68)Erbium (Er)	
	14.(69)Thulium (Tm)	
	15.(70)Ytterbium (Yb)	
	16.(71)Lutetium (Lu)	
	17.(39)Yttrium (Y)	

II DIE NATÜRLICHEN ROHSTOFFVORKOMMEN UND DIE
GEWINNUNG DER ROHSTOFFKONZENTRATE

II,1 ZUR GEOCHEMIE DER SELTENEN ERDEN

II,1,1 Grundtatsachen

Die Lanthaniden gehören zur Gruppe IIIa im Langperiodensystem der Elemente und umfassen die Elemente der Ordnungszahlen 57 bis 71. Sie zeichnen sich durch eine enge chemische Verwandtschaft aus, die in ihrer Elektronenkonfiguration begründet liegt: die Lanthaniden verwenden das mit steigender Ordnungszahl jeweils hinzukommende Elektron für den Aufbau der inneren 4f-Orbitale, bei generell konstant bleibender Besetzung der äußeren fünften und sechsten Schalen (vgl. Abb.1).

Abb.1: Elektronenkonfiguration der S.E. - aus (268) -



Gewöhnlich sind es die drei äußeren Elektronen ($5d^1, 6s^2$), die als Valenzelektronen in Erscheinung treten. Die daraus für die Lanthaniden resultierende Dominanz der Dreiwertigkeit und der zwischen 0,81 und 1,14 Å befindliche Größenbereich ihrer Ionenradien)¹ bilden die Grundlage für ihre Verwandtschaft zu den ebenfalls dreiwertigen Elementen ^{21}Sc (Ionenradius: 0,81 Å)² und ^{39}Y (0,92 Å). Alle zusammen sind deshalb schon frühzeitig als "Gruppe der Seltenen Erden" aufgefaßt worden.

In Übereinstimmung mit der HUND'schen Regel neigen einige Seltene Erden dazu, von der Dreiwertigkeit abzugehen, um den relativ stabilen Status von Lutetium mit einer aufgefüllten ($4f^{14}$) bzw. von Gadolinium mit einer halbgefüllten ($4f^7$) 4f-Schale zu erreichen. So verhalten sich Europium ($4f^6$) und Ytterbium ($4f^{13}$) zweiwertig, wenn sie unter bestimmten Bedingungen ihr $5d^1$ -Elektron in das 4f-Niveau transferieren, um eine der genannten stabileren Konfigurationen zu erzielen. Unter begrenzten Bedingungen tritt Terbium ($4f^8$) vierwertig auf, wenn es eine 4f-Besetzung durch Übergabe eines Elektrons in das 5d-Niveau erreicht. Auch Cer ($4f^1$) vermag mit seinem einzigen 4f-Elektron die 5d-Schale zu $5d^2$ zu vervollständigen und erscheint daher häufig tetravalent. Darüber hinaus sind zweiwertiges Samarium (von $4f^5$ zu $4f^6$) und vierwertiges Praseodymium (von $4f^2$ zu $4f^1$) bekannt.

Tab.1: Valenzen und 4f-Besetzungszahlen
(nach STERNAT & WEIK (294), S.1163)

Element	Me ²⁺	Me ³⁺	Me ⁴⁺	Me ⁵⁺	Wertigkeit
La		f ⁰ .....	.....	.....	3
Ce		f ¹	f ⁰ .....	.....	3, 4
Pr		f ²	f ¹	f ⁰ (?)	3, 4, (5)
Nd		f ³	f ²(?) .....	.....	3, (4)
Pm		f ⁴ .....	.....	.....	3
Sm	f ⁶	f ⁵ .....	.....	.....	2, 3
Eu	f ⁷	f ⁶ .....	.....	.....	2, 3
Gd		f ⁷ .....	.....	.....	3
Tb		f ⁸	f ⁷ .....	.....	3, 4
Dy		f ⁹ .....	.....	.....	3
Ho		f ¹⁰ .....	.....	.....	3
Er		f ¹¹ .....	.....	.....	3
Tm		f ¹² .....	.....	.....	3
Yb	f ¹⁴	f ¹³ .....	.....	.....	2, 3
Lu		f ¹⁴ .....	.....	.....	3

)¹ Ionenradien nach AHRENS (1)

)² nach jüngsten Untersuchungen geringer: 0,77 Å in Sc_2O_3
GELLER et al. (14), KNOP & HARTLEY (26).

Die Ähnlichkeiten unter den Seltenen Erden sind maßgebend für ihr geochemisches Verhalten, denn sie bewegen sich im großen Kreislauf der Gesteine als ziemlich kohärente Gruppe)¹ (RANKAMA & SAHAMA (35)). So zeichnen sich alle Seltenen Erden durch einen deutlich lithophilen Charakter aus (GOLDSCHMIDT (18)) und sind extensiv auf der Erde verteilt.

Andererseits führen die geringen graduellen Abweichungen in ihren Eigenschaften im Laufe der geochemischen Prozesse zu mehr oder minder evidenten Fraktionierungen in ihrer Verteilung. Dabei scheinen die durch die Zunahme der effektiven Ladung von La bis Lu bedingte Abnahme der Ionenradien ("Lanthanidenkontraktion") sowie die darauf zurückzuführende in gleicher Weise abnehmende Basizität der isovalenten Reihe von besonderer Bedeutung für die g r u p p e n w e i s e relative Verarmung bzw. Anreicherung der Seltenen Erden zu sein.

Auch die wenigen auffälligen qualitativen Unterschiede im chemischen und physikalischen Verhalten können unter bestimmten Bedingungen Fraktionierungseffekte hervorrufen, die dann e i n z e l n e Elemente der Seltenen Erden betreffen. Herausragendes Beispiel dafür ist - neben der geochemischen Sonderstellung des relativ leichten und kleinen Sc - die Eigenschaft der Elemente Ce und Eu besonders leicht von der Trivalenz abgehen zu können.

II,1,2 Fraktionierungseffekte in der Erdkruste

Von manchen Autoren)² wird die Seltene Erden-Verteilung in den chondritischen Meteoriten als eine Näherung oder gar Entsprechung zu der ursprünglichen Verteilung in der primitiven Erdmaterie angenommen. Es gibt Argumente gegen diese Hypothese, aber auch manches, was für eine solche Kompetenz der Chondrite sich heranziehen läßt. So läßt der Vergleich aller analysierten Chondrite keine Frak-

)¹ mit Ausnahme des Sc.

)² TAYLOR (44), UREY (48), MATSUI & MASUDA (30), HASKIN & GEHL (20), SCHMITT et al. (39) und (40).

tionierung und nur geringe Unterschiede in der absoluten Häufigkeit der Seltenen Erden erkennen. Auch deckt sich die Seltene Erden-Verteilung der Chondrite mit bestimmten basischen Gesteinen der Erdkruste in auffallender Weise, obwohl deren absolute Gehalte bis 50-fach höher liegen.

Gemessen an den Chondriten hat in der Erdkruste eine beträchtliche Anreicherung an Seltenen Erden stattgefunden. Jedoch sind die einzelnen Elemente nicht im gleichen Maße davon betroffen; Fraktionierungsvorgänge führten zu einer Bevorzugung der Ceriterden. Diese Zusammenhänge sind in Abb.2 wiedergegeben.

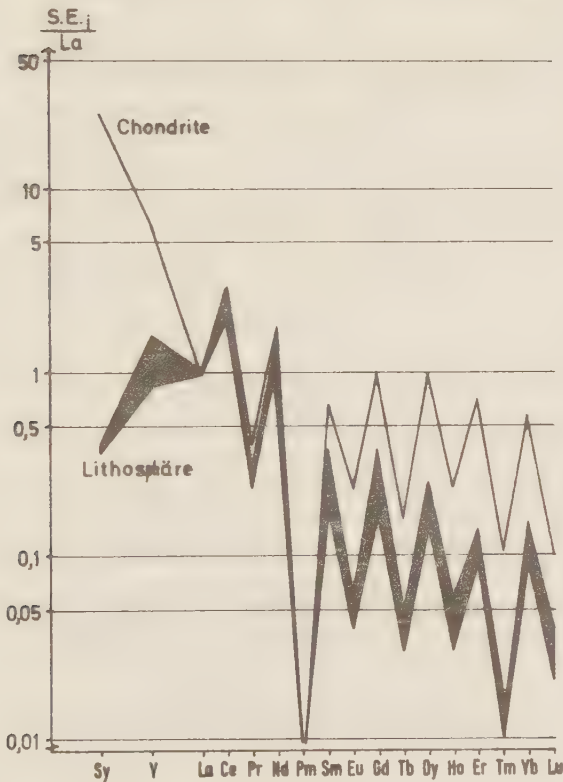


Abb.2:
S.E.-Verteilung in Chondriten und in der Lithosphäre.
(Urliste u. Quellen im Anhang, S. 217)

Der differenzierte Gesteinsaufbau der Lithosphäre wirkt sich ebenfalls auf die Verteilung der Seltenen Erden aus. Die Untersuchungen darüber befinden sich noch im Anfangsstadium, zumal die überwiegende Zahl der einschlägigen Arbeiten auf einer statistisch unzureichenden Analysenzahl gründet. Dennoch, einige von den sich abzeichnenden Erkenntnissen mit überregionaler Bedeutung seien kurz angesprochen.

Allgemein erlauben die bisher vorliegenden Zahlen die Aussage, daß die Seltene Erden-Gehalte der Erdkruste lokal beträchtlich variieren und in den Durchschnittswerten gesteinspezifisch signifikante Unterschiede aufweisen (vgl.Tab.2).

Tab.2: Durchschnittliche Seltene Erden-Gehalte der Gesteine

Eklogite		zwischen 20-120 ppm
Peridotite		unter 50 ppm
Gabbros		um 100 ppm
Basalte		um 100 ppm
Alkalibasalte		100-1000 ppm
Alkaligesteine		300 bis über 2000 ppm
intermediäre Gesteine		um 200 ppm
granitische Gesteine		um 300 ppm
Sandsteine, Grauwacken, Tonsteine		i.a. zwischen 100-300 ppm
Kalksteine		um 50 ppm

Für die metamorphe Abfolge hat OVERSTREET (33) gefunden, daß die Verbreitung von Monazit sowie dessen Th-Führung mit ansteigendem Metamorphosegrad der Gesteine zunimmt.

Die Seltene Erden-Gehalte der Ozeane sind oberflächennah sehr gering (GOLDBERG et al. (15) haben an einer Stelle im Pazifik 0,011 ppb)¹ gemessen), nehmen jedoch zur Tiefe hin zu (BALASHOV & KHITROV (3); GOLDBERG et al. (15)).

)¹ ohne Sc

Die Residenzzeiten)¹ von knapp 200 Jahren für die Ceriterden (ohne Cer) und etwa 300-600 Jahren für die Yttererden zeigen, daß die Geriterden aus dem Meerwasser offenbar schneller wieder ausgefällt werden als die Yttererden, die daher in den Ozeanen relativ angereichert vorkommen. Das Cer besitzt mit ca. 50 Jahren die weitaus kürzeste Residenzzeit, ist in den Meeren also auffallend unterrepräsentiert. Das könnte mit seiner leichten Oxidierbarkeit zu Ce^{IV} und der Möglichkeit gemeinsamer Fällung mit Fe und Mn zusammenhängen (GOLDBERG et al. (15)). Tatsächlich weisen Mn-Knollen der Ozeanböden oft erhöhte Cer-Gehalte auf. Jedoch stehen über das Verhalten der Seltenen Erden im ozeanischen Milieu nähere Untersuchungen noch aus.

Gesteinsspezifische Fraktionierungseffekte in der Verteilung der Seltenen Erden sind auch an einigen Mineralen klar herausgearbeitet worden. MURATA et al. (32.) und FLEISCHER (11) erkannten, daß die gleichen Minerale in unterschiedlichen Gesteinsfamilien charakteristische Veränderungen der Verteilung aufweisen. Diese Zusammenhänge sind in den Abbildungen 3-5 der folgenden Seite wiedergegeben.

II,1,3 Die Minerale

Die Unterschiede der Gesteine in Grad und Tendenz der Seltene Erden-Fraktionierung drücken sich nicht nur in der Zusammensetzung der Minerale aus, sondern gehen auch aus dem vorhandenen Mineralangebot selbst hervor. GOLDSCHMIDT & THOMASSEN (16) haben als erste darauf hingewiesen, daß die meisten Minerale der Seltenen Erden den Einbau bestimmter Seltene Erden-Gruppen bevorzugen, während andere weniger wählerisch sind. SEMENOV & BARINSKII (42) und SEMENOV (43) teilen die

)¹ Residenzzeiten nach WILDEMAN & HASKIN (51).

Abb.3-5:

Gesteinsspezifische
Fraktionierungseffekte
in Mineralen.

Quellen:

hohler Kreis: (32)
voller Kreis: (11)

Abb.3: Monazit

P Granitpegmatit
G Granit
Q Quarzgang
A Alkaligestein
K Karbonatit

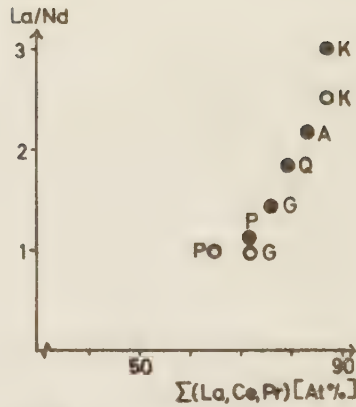


Abb.4: Orthit

P Pegmatit,
G Granit
D Granodiorit
R Rhyolith
A Alkaligestein
K Karbonatit

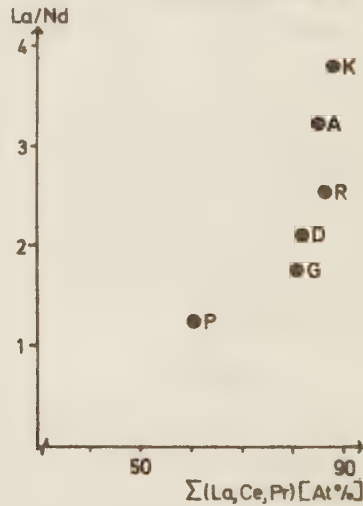
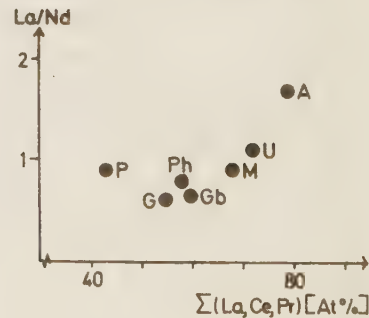


Abb.5: Apatit

P Pegmatit
G Granit
Ph Phosphorit
Gb Gabbro
M Monzonit
U Ultrabasit
A Alkaligestein



Minerale nach ihrer Selektivität ein, z.B. in La-betonte (Davidit), Ce- und Nd-bevorzugende (Aeschynit), Gd-Y-betonte (Samarakit), in Y-Minerale (Xenotim, Euxenit) und komplexe Minerale ohne einseitige Bevorzugungen (Orthit, Gadolinit). Die Abbildungen 6-9 veranschaulichen charakteristische Verteilungsmuster ausgewählter Minerale:

Abb.6: S.E.-Veretilung
im Bastnäsit.

(nach Analysen des
Mountain Pass- und
madegassischen Bastn.
aus (139), S.11)

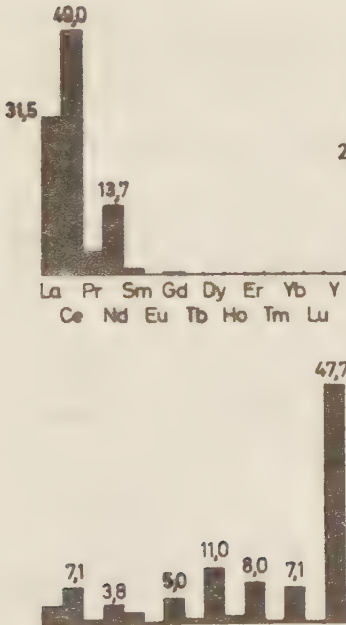


Abb.7: S.E.-Verteilung
im Monazit.

(nach Analysen des
Seifenmonazits von
Malaysia, Indien, USA)

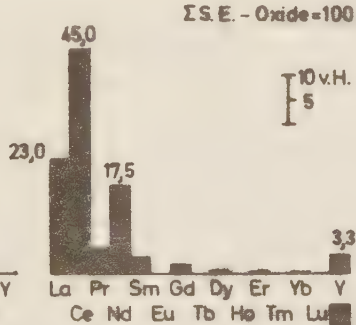


Abb.8: S.E.-Verteilung
im Euxenit.

- nach (164) -

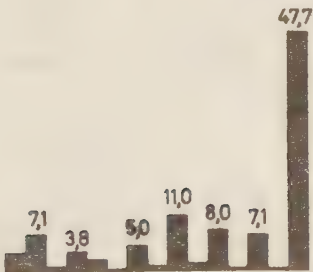
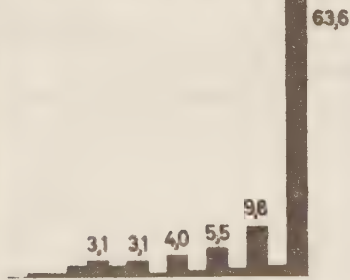


Abb.9: S.E.-Verteilung
im Fergusonit.

- nach WYLIE, a.a.O. S.16 -



Tab.3: Die wichtigsten Minerale der Seltenen Erden.

Jene Minerale, die wirtschaftliche Bedeutung auf dem Vorstoffsektor der Seltenen Erden erlangt haben, sind unterstrichen hervorgehoben. Die Quellen zu den Angaben über die S.E.-Verteilung sind:

- (1.): FLEISCHER & ALTSCHULER (11)
- (2.): HEINRICH (21)
- (3.): ILUPIN, I.P. et al.: Rare Earths in Accessory Minerals of Yakutian Kimberlites.
Doklady Akad.Nauk.SSSR, 201, 1971, S.272-274
- (4.): PECORA (101)
- (5.): SEMENOV (43)
- (6.): SERDYUCHENKO, D.P. & PAP, A.M.: Composition and Origin of Orthite and Titanite from Precambrian Crystalline Rocks of Belorussia.
Doklady Akad.Nauk.SSSR, 185, 1968, S.81-84
- (7.): SHAW (164)
- (8.): WYLIE, A.W.: Lanthanon and Scandium Distribution in Western Australian Fergusonite.
Am.Min. 1954, S.667-669

Name und chemische Formel	-	Gehalte an	-	Beispiele zur
		S.E.-Oxiden		S.E.-Verteilg.

1. S.E.-Minerale:

a. Karbonate

Ancylyt $\text{Sr}_3(\text{Ce}, \text{La}, \text{Dy})_4(\text{OH})_4(\text{CO}_3)_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	-		-	
<u>Bastnäsit</u> $\text{Ce}[\text{F}/\text{CO}_3]$	ca. 72%			s.S.15, Abb.6
Burbankit $\text{Na}_2(\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}, \text{Ce}, \text{La})_4[\text{CO}_3]_5$	-		-	
Calkinsit $(\text{Ce}, \text{La})_2[\text{CO}_3]_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	-			nach (4.) ca.: 31% La 52% Ce 4% Pr 12% Nd je 0,6% Sm, Gd
Cordylit $\text{Ba}(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd})_2[\text{F}_2/(\text{CO}_3)_3]$	-		-	
Lanthanit $(\text{La}, \text{Dy}, \text{Ce})_2[\text{CO}_3]_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	-		-	
Parisit $\text{CaCe}_2[\text{F}_2/(\text{CO}_3)_3]$	-			nach (4.) ca.: 29% La, 49% Ce, 4% Pr, 14% Nd, 1,3% Sm

Name und chemische Formel	Gehalte an S.E.-Oxiden	Beispiele zur S.E.-Verteilg.
Sahamalit $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd})_2(\text{Mg}, \text{Fe})[\text{CO}_3]_4$	-	-
Synchysit $\text{CaCe}[\text{F}/(\text{CO}_3)_2]$	-	-
b. Phosphate		
Britholit $(\text{Na}, \text{Ce}, \text{Ca})_5[\text{F}/(\text{SiO}_4, \text{PO}_4)_3]$	-	-
Florenzit $\text{CeAl}_3[(\text{PO}_4)_2/(\text{OH})_6]$	-	-
Kolbeckit $\text{ScPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	39,2% Sc_2O_3	-
<u>Monazit</u> $\text{Ce}[\text{PO}_4]$	60-70%	s. S. 15 und S. 94 u. 86
Rhabdophan $\text{Ce}[\text{PO}_4] \cdot \text{O} \cdot \text{O}, 5\text{H}_2\text{O}$	-	-
<u>Xenotim</u> $\text{Y}[\text{PO}_4]$	53-65%	nach (2.) u. (5.): 56-68% Y 5-19% Yb 6-8 % Er 8 % Dy 1-2 % Gd
c. Silikate		
<u>Cerit</u> $(\text{Ca}, \text{Mg})_2\text{Ce}_8[\text{SiO}_4]_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	60-70%	nach (4.): 22% La, 54% Ce, 6% Pr, 16% Nd, 1,5% Sm
Gadolinit $\text{Y}_2\text{FeBe}_2[\text{O}/\text{SiO}_4]_2$	35-50%	nach (5.): 7% Ce, 12% Nd, 8% Sm, 9% Gd, 11% Dy, je 4% Yb u. Er, 35% Y
Kainosit $\text{Ca}_2\text{Y}_2[\text{CO}_3/\text{Si}_4\text{O}_{12}] \cdot \text{H}_2\text{O}$	-	-
Karyocerit $\text{Na}_4\text{Ca}_{16}(\text{Y}, \text{La})_3(\text{Zr}, \text{Ce})_6[\text{F}_{12}/(\text{BO}_3)_3/(\text{SiO}_4)_{12}]$	-	-
Mosandrit $(\text{Ca}, \text{Na}, \text{Y})_3(\text{Ti}, \text{Zr}, \text{Ce})[(\text{F}, \text{OH}, \text{O})_2/\text{Si}_2\text{O}_7]$	-	-
Orthit $(\text{Ca}, \text{Ce})_2\text{FeAl}_2[\text{O}/\text{OH}/\text{SiO}_4/\text{Si}_2\text{O}_7]$	14-28%	nach (6.): 22% La, 40% Ce, 11% Pr, 23% Nd, je 1% Sm u. Gd, 2% Y
Rinkit $(\text{Na}, \text{Ca})_{12}(\text{Ce}, \text{Ti})_5\text{Si}_8(\text{O}, \text{F})_{36}$	-	-
Steenstrupin $\text{Na}_2\text{Ce}(\text{Mn}, \text{Ta}, \text{Fe}, \dots)\text{H}_2[(\text{Si}, \text{P})\text{O}_4]_3$	-	ca. 30%
Stillwellit $(\text{Ce}, \text{La})_3[\text{B}_3\text{O}_6/\text{Si}_3\text{O}_9]$	-	-
<u>Thortveitit</u> $\text{Sc}_2[\text{Si}_2\text{O}_7]$	33-48% Sc_2O_3	-

Name und chemische Formel	Gehalte an S.E.-Oxiden	Beispiele zur S.E.-Verteilg.
---------------------------	---------------------------	---------------------------------

d. Oxide

Aeschynit	$(\text{Ce}, \text{Ca}, \text{Fe}, \text{Th})(\text{Ti}, \text{Nb})_2\text{O}_6$	-
Davidit	$(\text{Fe}^{\text{II}}, \text{Fe}^{\text{III}}, \text{U}, \text{Ce}, \text{La})_2(\text{Ti}, \text{Fe}^{\text{III}}, \text{Cr}, \text{V})_5\text{O}_{12}$	nach (5): 62% La 29% Ce 2% Nd 4% Y

<u>Euxenit</u>	$(\text{Y}, \text{Er}, \text{Ce}, \text{U}, \text{Pb}, \text{Ca})(\text{Nb}, \text{Ti})_2(\text{O}, \text{OH})_6$	16-29% nach (7): 47% Y, 11% Dy, 8% Er, je 7% Yb, Ce 5% Gd, je 4% La, Nd.
----------------	---	--

Fergusonit	YNbO_4	31-44% nach (8): 64% Y, 10% Yb, 5% Er, 4% Dy, je 3% Sm, Gd.
------------	-----------------	--

Fersmit $(\text{Ca}, \text{Ce}, \text{Na})(\text{Nb}, \text{Ti}, \text{Fe}, \text{Al})_2(\text{O}, \text{OH}, \text{F})_6$

Formanit: wie Fergusonit ohne Ti-Gehalt

<u>Loparit</u>	$(\text{Na}, \text{Ce}, \text{Ca})\text{TiO}_3$	um 30% ceriterden- betont wie Perowskit
----------------	---	---

Polykras: Euxenit mit Ta

Samarskit	$(\text{Y}, \text{Er}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Ca}, \text{U}, \text{Th}, \text{Zr})(\text{Nb}, \text{Ti}, \text{Ta})_2(\text{O}, \text{OH})_6$	10-38% nach (5): 35% Y, 35% Gd, je 9% Dy, Sm.
-----------	--	---

Yttrotantalit: Samarskit ohne Ti

Zirkelit $(\text{Ca}, \text{Fe}, \text{Th}, \text{U}, \text{Ce})_2(\text{Ti}, \text{Zr})\text{O}_5$ - -

2. Wichtige Wirtsminerale

<u>Apatit</u>	$\text{Ca}_5[(\text{O}, \text{F})/((\text{P}, \text{Si})\text{O}_4)_3]$	um 1% nach (1): 24,5% La, 45% Ce, 4,5% Pr, 16% Nd, 2% Sm, 0,2% Eu, 1,5% Gd, 0,5% Dy, 6% Y
---------------	---	--

<u>Brannerit</u>	$(\text{U}, \text{La}, \text{Th}, \text{Y})(\text{Ti}, \text{Fe})_2\text{O}_6$	1,1-6,5% ca. 50% Y, 30% Yttererden, 20% Ceriterden.
------------------	--	---

Name und chemische Formel	Gehalte an S.E.-Oxiden	Beispiele zur S.E.-Verteilg.
Eudialyt $(\text{Na,Ca,Fe})_6\text{Zr}[(\text{OH,Cl})(\text{Si}_3\text{O}_9)]_2$		
Goyazit $\text{SrAl}_3\text{H}[(\text{OH})_6/(\text{PO}_4)_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$		ceriterdenbetont
Knopit: Perowskit mit ca. 5% Ceriterden		
Perowskit CaTiO_3	um 1%	nach (3): 40% Ce, 3% Sm, je 20% La u. Nd, je 5% Pr, Gd u. Y,
Pyrochlor $(\text{Ca,Th,Na})_2(\text{Nb,Ta})_2\text{O}_6(\text{O,OH,F})$	1-6%	Ceriterden
Thorit $\text{Th}[\text{SiO}_4]$	5-10%	nach (2): 30% Ce, 10% La, 8% Nd, 4% Dy, je 3% Pr, Gd, Er, 33% Y
Titanit CaTiSiO_5	um 1%	nach (1): La, Ce, Pr 55% Nd 21% Sm-Ho 18,5% Er-Lu 5,5%
Zirkon $\text{Zr}[\text{SiO}_4]$	um 1%	yttererdenreich

II,1,4 Anreicherungen

II,1,4,1 Skandium

Das Element ²¹Sc ist in der Erdkruste extensiv verteilt. So kennt man nur drei Sc-Mineralen (Thortveitit, Bazzit, Kolbeckit), obwohl Skandium mit durchschnittlich 5-10ppm)¹ in der Kruste nicht zu den seltenen Elementen des PSE gehört. Es hat seine Hauptverbreitung in den ferromagnesiumreichen Gliedern der Pyroxene, Hornblenden und Glimmer. Daher gehören die basischen und ultrabasischen Gesteine zu den Sc-reichsten Magmatiten:

Tab.4: Durchschnittliche Skandium-Gehalte in Magmatiten

Peridotite	um 10 ppm
Pyroxenite	um 50 ppm
Basalte	um 40 ppm
Alkaligesteine	um 5 ppm
Granite	um 5 ppm

Demgegenüber ist die Sc-Gewinnung bisher aus Mineralen granitpegmatitischer bis pneumatolytisch-hydrothermalen Bildung bestritten worden, wobei Thortveitit (mit 33 - 48% Sc₂O₃), Wolframit (bis 0,4%), Zinnstein (bis 0,2%) und Beryll (bis 1,5%, meist unter 0,1%) eine hervorragende Rolle spielten. Auch die Sc-Extraktion aus den Laugen der Urangewinnung von Davidit, Brannerit und Euxenit wird praktiziert.

Ferner vermögen verschiedene andere Minerale der Seltenen Erden sowie Granate Skandium bis zu Zehntelprozenten zu führen. Pyroxenite (bis zu mehreren hundert ppm Sc), Bauxite, Laterite, sedimentäre und magmatogene Eisen-erzlagertstätten und manche phosphatreichen Sedimente (bis 500 ppm Sc) verfügen über beträchtliche und unter bestimmten Voraussetzungen nutzbare Potentiale.

)¹ FRYCKLUND & FLEISCHER (13) geben sogar 30 ppm an.

II,1,4,2 Ceriterden

In der Untergruppe der Ceriterden finden sich mit La, Ce, Pr, Nd, Sm die neben Sc und Y häufigsten Seltenen Erden vereinigt. Infolgedessen gibt es kaum ein Vorkommen der Seltenen Erden, das nicht beträchtliche Gehalte an Ceriterden aufweist. Die folgende Tabelle gibt die Gehalte verschiedener magmatischer Gesteine wieder:

Tab.5: Ceriterden-Gehalte der Magmatite

	durchschnittl.-(in ppm)-maximal	
Peridotite	unter 40	-
Gabbros	um 50	-
Basalte	um 50	über 1000
Alkaligesteine	250-2000	über 10.000
intermediäre Gesteine	um 140	-
granitische Gesteine	um 230	über 1000

Wie aus der Tabelle ersichtlich, sind es die komplexen Intrusionen ("Zentralmassive") der Alkaligesteine, die über die interessantesten Anreicherungen verfügen. Hier wirken die z.T. extrem zugunsten der Ceriterden fraktionierten Minerale Bastnäsit, Monazit, Loparit, Apatit, Pyrochlor u.a. lagerstättenbildend. Innerhalb der weiten Palette der verschiedenartigen Gesteine solcher Zentralmassive sind die Anreicherungen überwiegend in Nephelinsyeniten und Karbonatiten angesiedelt. Während in den Nephelinsyeniten Apatit, Loparit, untergeordnet auch Titanit und Zirkon die maßgeblichen Träger der Ceriterden sind, dominieren in den Karbonatiten Bastnäsit und Pyrochlor, der eine den anderen meist ausschließend. Monazit kann in beiden gelegentlich wichtiger Bestandteil sein.

Normale intermediäre Gesteine enthalten wie die Ultrabasite und die alkaliarmen Basalte keine bemerkenswerten Anreicherungen.

Erst wieder die Gesteine der Granitfamilie, deren Pegmatite und pneumatolytisch-hydrothermalen Bildungen können Vorkommen von wirtschaftlicher Bedeutung enthalten. Sie sind außerdem die bedeutendsten Lieferanten für die Seltene Erden-haltigen Schwermineralseifen, weil die Granite neben den Basalten den mit Abstand häufigsten magmatischen Gesteinstyp der Erdkruste darstellen, und zugleich Träger von Mineralen der Seltenen Erden wie Monazit, Xenotim, Thorit, Orthit und Euxenit sind, die sich aufgrund ihrer hohen Dichte und Resistenz gegenüber Korrosion und Abrieb zur Anreicherung im sedimentären Milieu z.T. hervorragend (Monazit) eignen.

Aus der metamorphen Abfolge sind Anreicherungen bekannt, die vorzugsweise sowohl hochmetamorphe Serien betreffen, und sich darin an biotitreiche Zonen zu halten scheinen, als auch im Kontaktbereich zu Graniten auftreten.

II,1,4,3 Yttererden

In der Gruppe der Yttererden sind mit Ausnahme des Pm und Eu alle selteneren Seltenen Erden vereinigt und einzig Y muß den häufigeren zugerechnet werden. In den magmatischen Gesteinen sind die Yttererden wie folgt vertreten:

Tab.6: Yttererden-Gehalte der Magmatite in ppm.

	durchschnittlich	davon Y
Peridotite	unter 10	bis 5
Gabbros	unter 40	bis 25
Basalte	um 60	um 30
Alkaligesteine	100-500	wechselnd
intermediäre Gesteine	um 60	um 35
granitische Gesteine	um 65	um 40

Primäre Anreicherungen der Yttererden kennt man aus Alkaligesteinen, aus der granitischen und metamorphen Abfolge. Aus den Nephelinsyeniten der Zentralmassive

fallen die Yttererden neben der dominierenden Ceriterden-Komponente bei der Aufbereitung der Minerale Apatit, Loparit, Monazit, Zirkon u.a. mit an. In den Karbonatiten ist der Yttererden-Anteil bedeutungslos (oft unter 1% von allen Seltenen Erden).

In Graniten und besonders deren Pegmatiten kommen Minerale mit hohen Yttererden-Komponenten vor (Xenotim, Euxenit, Gadolinit, Yttrotantalit u.a.). Aus hydrothermalen Imprägnationen und Gängen, meist in Verbindung mit Metamorphiten, werden Seltene Erden und besonders die Yttererden als Nebenprodukte der Urangewinnung aus Mineralen wie Brannerit, Monazit und Davidit separiert.

Seifenlagerstätten bleiben infolge der mechanischen Angreifbarkeit der Yttererden-Mineralen auf eluvial-colluviale bis alluviale Bildungen beschränkt. Lediglich der Xenotim kann lokal bei allerdings nur geringen Gehalten in marinen Seifen vertreten sein.

II,1,4,4 Besondere Anreicherungen

Es ist a.a.O. bereits darauf hingewiesen worden, daß Ce und Eu, untergeordnet aber auch Pr, Sm, Tb und Yb unter bestimmten Redoxbedingungen von der Dreiwertigkeit abweichende Valenzzustände eingehen. Offenbar scheint sich diese Eigenschaft nur bei Ce und Eu geochemisch bemerkbar zu machen. So ist die starke Präsenz des Ce^{IV} in den Manganknollen der Tiefsee (bis über 1000 ppm und 50% von allen Seltenen Erden) ebenso erwähnenswert wie die Eu^{II} -Bevorzugung mancher Feldspäte und bestimmter, unter reduzierenden Bedingungen entstandener Sedimente.

Die Ionenradien der Seltenen Erden befähigen sie, das Kalzium (Ionenradius 0,99 Å) diadoch zu vertreten, wobei die Elemente mit den nächstliegenden Ionenradien - Sm mit 1,00 Å, Eu mit 0,98 Å und Gd mit 0,97 Å - oft bevorzugt werden. So sind diese Elemente der Terbium-Untergruppe in den Karbonatitgängen des Wet Mountain-Bezirks

deutlich überrepräsentiert und in manchen Phosphoriten zeigt sich eine schwache Betonung der Sm-Eu-Gd-Gehalte.

II,2 LAGERSTATTEN, BERGBAU UND PRODUKTION

Die Lagerstätten der Seltenen Erden werden wie folgt gegliedert und in dieser Reihenfolge besprochen:

- 1- Lagerstätten in Alkaligesteinen
- 2- Karbonatite
- 3- Lagerstätten der granitischen Abfolge
- 4- Vorkommen in Metamorphiten
- 5- Lagerstätten in Sedimenten
- 6- Sonstige

Innerhalb der sechs Klassen werden die Lagerstätten in alphabetischer Reihenfolge behandelt, wobei jeweils nach einem maximal acht Punkte umfassenden Schema verfahren wird:

1. Geographische Lage der Lagerstätte
2. Zur Geologie und Petrographie
3. Erzführung, Gehalte und Reserven
4. Abbaubedingungen
5. Aufbereitung
6. Zahlen zur Produktion
7. Beteiligte Unternehmen
8. Literaturhinweise

Unter 3. wird auch unternommen, auf die neben den Seltenen Erden vorhandenen wirtschaftlich interessanten Mineralisierungen der Lagerstätte hinzuweisen. Die Erze der Seltenen Erden sind stets unterstrichen hervorgehoben.

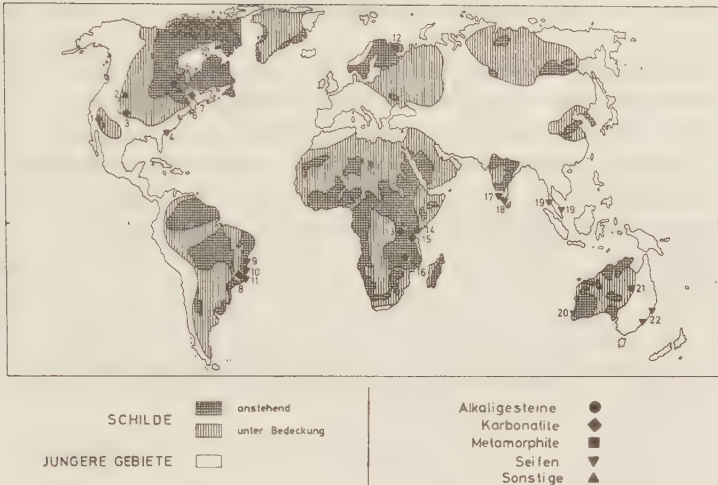


Abb.10: Beziehung zwischen den S.E.-Lagerstätten und den Schildgebieten der Erde.

	Seite
1 Mountain Pass	47
2 Lemhi Pass	105
3 Powderhorn	57
4 Georgia	100
5 Nemegos (Apatit)	-
6 Blind River	103
7 Oka (Pyrochlor)	-
8 Araxa	38
9 Bahia	82
10 Espirito Santos	82
11 Rio de Janeiro	82
12 Chibina	28
13 Karonge	45
14 Mrima Hill	51
15 Wigu Hill	60
16 Kangankunde	44
17 Chavara	85
18 Manavalakurichi	85
19 Malaysia	93
20 Geographe Bay	76
21 Mary Kathleen	69
22 Ostaustralien	78

II, 2, 1 Lagerstätten in Alkaligesteinen

Die Alkaligesteine gehören mit den Karbonatiten allgemein zu den Magmatiten mit den stärksten Seltene Erden-Anreicherungen. Der Name "Alkaligesteine" steht im weitesten Sinne für eine große Gruppe sehr verschiedenartiger intermediärer bis basischer Gesteine, denen ein Vorherrschen der Alkalifeldspäte gegenüber der Anorthitkomponente in der Gesteinszusammensetzung gemeinsam ist.

Zu den SiO_2 -gesättigten Vertretern der Gruppe zählen:

- die Syenite (sowie deren subvulkanischen und vulkanischen Aquivalente), mit Dominanz der Alkalifeldspäte gegenüber den Plagioklasen
- und die Gesteine vom Chemismus der Diorite mit überwiegend albitreichen Plagioklasen.

Die wichtigsten SiO_2 -ungesättigten Glieder, Alkaligesteine i.e.S., sind Nephelinsyenit und Shonkinit (mit Alkalifeldspat und Nephelin) sowie Foyait (mit Alkalifeldspat und Leuzit) mit ihren Aquivalenten; ferner die feldspatfreien Urtit, Ijolith und Melteigit (mit Nephelin). Die entsprechenden Gesteine mit Leuzit (z.B. Italit) scheinen von geringerer Bedeutung für die Seltenen Erden zu sein.

Darüber hinaus existiert eine Vielzahl weiterer Namen für die verschiedensten Varietäten, die hier nicht genannt zu werden brauchen.

In ihrer Verbreitung halten sich die Alkaligesteine an frühzeitig, überwiegend präkambrisch konsolidierte Gebiete, in die sie häufig entlang tiefgreifender tektonischer Linien oft in Gestalt von Ringkomplexen (Zentralmassive) intrudierten. Solche Ringkomplexe lassen in der Regel viele Intrusionsphasen von wechselndem Chemismus erkennen, wobei die einzelnen Intrusionskörper wie "cone-sheets" zueinander angeordnet sind. "Ring-dykes" und radiäre Gänge, magmatisch bis hydrothermal mineralisiert, vervollständigen das Erscheinungsbild der Zentralintrusionen. Oft sind es gerade

die pegmatitischen und pneumatolytisch-hydrothermalen Nachphasen, die zu wirtschaftlich interessanten Vererzungen geführt haben.

Unter der Vielzahl der Alkaligesteinstypen scheinen es besonders die SiO_2 -unterschüssigen Nephelinsyenite und deren Pegmatite zu sein, die Lagerstätten der Seltenen Erden (mit Dominanz der Ceriterden) beherbergen.

Zur näheren Verwandtschaft der genannten Gesteine gehören, schon ihres gemeinsamen Vorkommens wegen, die Karbonatite. Im Chemismus ihrer gesteinsbildenden Minerale heben sie sich allerdings deutlich von den Alkaligesteinen ab. Auch weisen sie in den Akzessorien signifikante Unterschiede auf. So sind besonders die Elemente Nb, Sr, Ba und die leichtesten der Seltenen Erden (La, Ce) in den Karbonatiten häufiger, während in den Alkaligesteinen Ti, Zr, Be, Th und U größere Bedeutung besitzen. Die Karbonatite werden daher gesondert behandelt.

Die Lagerstätten:

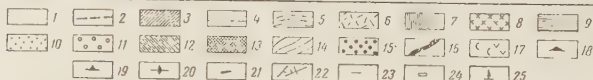
AFRIKANDA (Sowjetunion)

1. Afrikanda gehört zum basischen Gesteinsgürtel der Halbinsel Kola und befindet sich am Südufer des Ozero Imandra, nahe der Eisenbahnlinie Kandalasa-Murmansk.
2. Es handelt sich um eine Ringstruktur alkalibetonter, vorwiegend basischer Gesteine in präkambrischen Biotitgneisen, die eine Fläche von etwa 7 km^2 bedeckt. Der äußere Ring, auf etwa 500 m Breite ausstreichend, besteht aus Pyroxenit und Melteigit. Den Kern der Struktur bildet eine Eruptivbrekzie aus Dunit und Pyroxenit. Zahlreiche Gänge aus Nephelinpegmatit, Pyroxen-Nephelin-Gestein, Knopit-Schorlomit-Nephelin-Gestein und Karbonatit durchschneiden das Massiv.
3. Der Pyroxenit des äußeren Ringes birgt Schlieren aus Knopit-Titanomagnetit-Erz. Knopit ist auch Bestandteil einiger Gangtypen. Zahlen über Gehalte und Reserven sind nicht verfügbar.
4. Es geht kein Bergbau um.

CHIBINA (Sowjetunion)

1. Das Massiv gehört zum Alkaligesteinsgürtel der Halbinsel Kola und liegt ca. 50 km südlich von Murmansk.
2. Wie die untenstehende Karte ausweist, sind dort Alkaligesteine (vorwiegend Syenite, Foyaite und Nephelinsyenite) in Form eines Zentralmassivs in die präkambrische Umgebung intrudiert.

Abb.11 Strukturgeologisches Schema des Chibinaplutons
(nach SMIRNOV (114))



- | | |
|--|--|
| 1 Quartäre Ablagerungen. | 14 Gneise |
| 2 Alkalikomplexe des Plutons: | 15 Quarzabbrodiabas und Granophyr |
| 3 Junge Ganggesteine | 16 Metagabbrodiabas. |
| 4 feinkörniger Glimmer-Agitin-Hor diadoch-Syenit | 17 Archaikum |
| 5 mittelkörniger Agitin-Nephelin-Syenit | 18 basische Effusiv- und tuffogene Serien. |
| 6 trachytoidischer Foyaite | 19 Strukturmerkmale: |
| 7 massiger Foyaite | 20 Phloktoren mit einem Einfallswinkel von 5 bis 35° |
| 8 Jolitharit | 21 das gleiche von 35 bis 80° |
| 9 punktförmiger Nephelinsyenit | 22 das gleiche von 80 bis 90° |
| 10 Alkalisyenitporphyr | 23 orientiert eingelagerte Schlieren |
| 11 Trachetoidischer Nephelinsyenit | 24 primäre Klüfte |
| 12 massiger Nephelinsyenit | 25 Gänge mit massigen Gesteinen |
| 13 Alkali- und Nephelinsyenit. | 26 Gänge trachytoidischer Gesteine |
| Proterozoikum | 27 Schieferung des Nebengesteins |
| 13 Barabos | |

3. Haupterzminerale für die Seltenen Erden sind Loparit und Apatit. Der Loparit tritt akzessorisch in den gebänderten Nephelinsyeniten auf, und ist in sechs voneinander getrennten Horizonten, die zwischen 0,5 und 20 m mächtig sind, angereichert. Er stellt dort zwischen 2 und 20 % des Gesteins. Analysen des Loparits erbrachten folgende Mittelwerte:

9-12 %	(Nb,Ta) ₂ O ₅	(Nb/Ta: ca.9)
40 %	TiO ₂	
33 %	Oxide d.Seltenen Erden	
0,6-0,9%	ThO ₂	

Die Loparitreserven sollen ungewöhnlich groß sein.

Apatit ist eine Komponente der Nephelinsyenite dort. Das schwarze Band im Süden von Abb.11 besteht aus Apatit-Nephelin-Gestein und stellt das Hauptapatitlager dar, das sich in eine Reicherzzone (23-27 % P₂O₅) und eine ärmere (15-17 %) aufteilt. Gewöhnlich führt der Apatit um 1 % S.E.; stellenweise tritt auch eine Varietät auf ("Saamit"), die zwischen 3 und 5 % S.E. und bis zu 12 % Sr enthält.

Die nachgewiesenen Reserven belaufen sich auf etwa 400 Mio.t Apatit. Die Vorräte aller Kategorien schätzt man auf über 2 Mrd.t.

- 4,6. Die Mächtigkeit des Apatitlagers schwankt zwischen 10 und 200 m. Es fällt mit 30-40° ein. Vier Tagebaue sind in Betrieb. Sie fördern jährlich rund 15 Mio.t Erz, wovon allein 70 % auf den erst 1966 eröffneten Zentral-Tagebau zurückgehen, der täglich bis zu 40.000 t Erz produziert.

Trotz der harten Witterungsbedingungen arbeiten die Tagebaue um 25-30 % kostengünstiger als die drei Tiefbauanlagen. An deren Verbesserung wird jedoch gearbeitet, da infolge des starken Einfallens der Lagerstätte nur etwa ein Drittel der nachgewiesenen Reserven sich im Tagebau bewältigen lassen.

Über den Loparitbergbau liegen keine Daten vor. Bereits während des 2. Weltkriegs lief eine Aufbereitungsversuchsanlage, deren Ausstoß auf 500 t.p.a. Nb_2O_5 gebracht werden sollte, wobei mit 1500-2000 t Oxide der S.E. als Nebenprodukte zu rechnen wäre.

5. "Apatite mining in Russia"
Mining Magazine 123, 1, Juli 1970, S. 13-25

DARKAINLE (Somalia)

Die Lagerstätte befindet sich im NW der Nordwest-Provinz Somalias.

2. Der Alkaligesteinskomplex streicht über eine Länge von 30 km und eine Breite von ca. 2 km aus. Gebänderte und gefaltete Syenite und Nephelinsyenite sind in das präkambrische Grundgebirge eingedrungen. Karbonatitgänge durchschlagen den Komplex, der im Osten und Westen von jurassischen Kalken überlagert wird.
3. Besonders die Karbonatite sind reich an Seltenen Erden sowie an Ba und Sr. Zahlen zur Bewertung liegen nicht vor.
4. Bergbau geht nicht um.

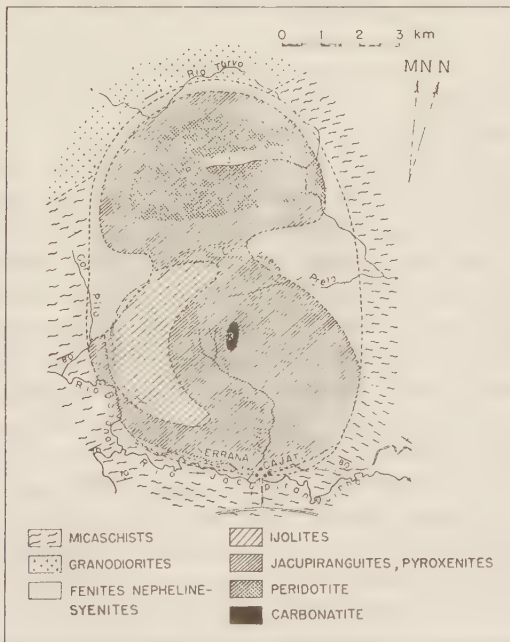
ILIMAUSSAQ (Grönland)

1. Die Intrusion befindet sich im Julianehaab-Distrikt Südwestgrönlands.
2. Es handelt sich um eine auf 70 km² ausstreichende Alkaligesteinsintrusion, die präkambrische Sandsteine, Granite und Vulkangesteine durchschlägt. Die Vererzung der Intrusion hält sich insbesondere an den Naujait (ein Sodalith-Foyait) und den Lujavrit (eine Nephelinsyenit-Varietät).
3. Seltene Erden, Th und U sind angereichert. Wichtigstes Mineral der Seltenen Erden ist der Steenstrupin (mit ca. 30% S.E.), daneben sind Eudialyt, Monazit und Britholit verbreitet.
4. Kein Abbau.
8. BONDAM, J. & SÖRENSEN, H. (61)

JACUPIRANGA (Brasilien)

1. Jacupiranga liegt im Süden des Staates Sao Paulo, wenige km südlich von Ipanema und ca. 160 km von der Atlantikküste entfernt.
2. Wie Abb.12 ausweist, handelt es sich um eine alkali-betonte basische Intrusion von ovalem Ausstrich und offenbar zwei Zentren. Eines wird vom Karbonatit angezeigt; das andere dürfte im Peridotit zu suchen sein.

Abb.12: Geologische Karte der Jacupiranga Intrusion nach G.C.MELCHER (94).



3. Im Jacupirangit treten Eisenerzmassen auf, die sich aus Titanomagnetit und daneben aus Seltene Erdenhaltigem Perowskit sowie Titanaugit, Vermiculit und Zirkelit zusammensetzen. In der Verwitterungsdecke über dem Karbonatit sind Apatit auf 12% und Magnetit auf 4% eluvial angereichert, die akzessorisch u.a. von Zirkon, Perowskit, Baddeleyit und Pyrochlor begleitet werden. Daten zu Gehalten und Reserven sind nicht verfügbar.
4. Der gesamte Komplex ist tiefgründig verwittert. Nur die Bedeckung des Karbonatits wird auf Apatit abgebaut. Die Nebenminerale werden nicht verwertet.
7. Serrano S.A. de Mineracao betreibt die Apatitgewinnung für Düngezwecke. Das Unternehmen ist auf eine Kapazität von 240.000 t Apatitkonzentrat p.a. ausgerichtet.
8. G.C. MELCHER (94)

ROCKY BOY (USA)

1. Die Intrusion befindet sich im Quellgebiet des Big Sandy Creek, Bearpaw Mountains, Montana.
2. Das ca. 30 km² umfassende Massiv gehört zur Alkaligesteinsprovinz von Zentral-Montana. Biotit-Pyroxenit, Nephelin-Shonkinit, Alkalimonzonit, Nephelinsyenit mit Pegmatiten und Kalium-betonte Syenite mit Karbonatiteinschaltungen sind um einen Kern aus porphyritischem Syenit geschart. Zahlreiche, z.T. karbonatische Gänge durchsetzen den Komplex.
3. Die Pegmatitkörper, bis 15 m mächtig, sind reich an Kupferkies, Pyrit, Apatit, Zirkon, Pyrochlor, Seltene Erden-Karbonate und Baryt. Die bis zu 0,5 m mächtigen karbonatitischen Gänge sind ähnlich mineralisiert; vereinzelte Analysen daraus erbrachten mehr als 3,5% S.E. (PECORA (101)). Burbankit ist das wichtigste Mineral der Seltenen Erden; daneben sind Calkinsit,

Ancylit, Lanthanit und Bastnäsit von Bedeutung.

Die Ceriterden überwiegen, wie Analysenergebnisse des Burbankits veranschaulichen. Von allen S.E.

entfallen durchschnittlich auf La_2O_3 25 %

Ce_2O_3 53 %

- nach PECORA (101) - Pr_2O_3 4 %

Nd_2O_3 15 %

Sm_2O_3 1 %

Oxide der Yttererden 2 %.

4. Bergbau geht offenbar nicht um.

TAPIRA (Brasilien)

1. Die Lagerstätte erstreckt sich nördlich von Tapira, das ca. 45 km südlich von Barreiro do Araxa im Staate Minas Gerais liegt.

2. Unter einer mächtigen Verwitterungsdecke befindet sich ein ringförmiger Intrusionskörper alkalibetonter Gesteine, über dessen genaue Gestalt und petrologische Zusammensetzung infolge der Bedeckung noch Unsicherheit herrscht. Pyroxenit, Phonolith und Tinguait sind die vorherrschenden Gesteine.

3. In der Verwitterungsdecke und deren alluvialen Umlagerungen sind neben Eisen- und Manganoxiden eluvial angereichert: Apatit, Ilmenit, Granat; akzessorisch kommen vor: Pyrochlor, Pandait, Perowskit, Zirkon, Rutil, Buntmetallsulfide, Flußspat, Titanit und Fersmit.

Ein gut prospektiertes Areal von etwa 0,9 x 3,6 km enthält ca. 200 Mio t Erz mit durchschnittlich 4,35% Nb_2O_5 und mindestens 0,6% Seltene Erden. Die Zr-, Co- und Mn-Gehalte weredn neben Nb als bauwürdig erachtet.

4. Es ist bis dato kein Abbau eingeleitet.

TUNDULU (Malawi)

1. Die halbmondförmig sich nach N öffnende Hügelgruppe liegt 4 km südlich vom Chilwa See.
2. Drei Intrusionszentren sind erkennbar, jedes ringförmig von mehreren, durch verschiedenartige Gesteine gekennzeichneten Intrusionsstadien umgeben. Die beteiligten Gesteine sind vornehmlich Nephelinsyenit, Foyait, Ijolith, Sövit sowie feldspatreiche Brekzien und Agglomerate unterschiedlicher Zusammensetzung.
3. Die älteren Sövitgänge sind hauptsächlich durch Apatit und Magnetit vererzt, wogegen die zweite Intrusionsphase auch seltenere Elemente brachte. Paragenesen wie: Ankerit, Apatit, Pyrochlor, Brookit; oder: Synchysit, Baryt, Fluorit, Anatas, Monazit; oder: Bastnäsit, Ankerit, Cordylit treten auf. Andere Gänge führen auch Bleiglanz, Zinkblende und Pyrit.
Ein 450 m langer Gang, der bis zu 30 m mächtig ist, enthält 60,4% Apatit, 3% Minerale der S.E. und über 0,3% Pyrochlor. Insgesamt wurden über 800.000 t mit mehr als 20% P_2O_5 und 1 Mio t mit 10% P_2O_5 nachgewiesen. Zahlen zu den Reserven an Seltenen Erden sind nicht bekannt.
4. Bergbau wird nicht betrieben.
7. Prospektionsarbeiten sind von der Anglo American Corp. of South Africa durchgeführt worden.

VUORI YARVI (Sowjetunion)

1. Das Vorkommen liegt am gleichnamigen See ca. 75 km südwestlich von Kandalasa.
2. Der Ausstrich des Zentralmassivs ist elliptisch bei 3 und 6 km Durchmesser. Vier Intrusionsstadien lassen sich erkennen:
 - Pyroxenit mit Peridotit
 - Ijolith, Melteigit, Jacupirangit und Malignit
 - Magnetitkörper mit Kalzit, Apatit und Olivin
 - Karbonatit

Der gesamte Komplex wird von Erz- und Karbonatitgängen durchschnitten.

3. Die zwischen 0,5 und 1 m mächtigen Karbonatitgänge setzen sich im wesentlichen aus Kalzit, Dolomit, Baryt, Ankerit, Bastnäsit, Carbocernait, Burbankit, Buntmetallsulfiden und Pyrochlore zusammen. Perowskit mit Titanomagnetit erscheinen in Schlieren und schmalen Adern im Pyroxenit. Auch zirkonreicher Schorlomit (13% ZrO_2) kommt vor.
4. Die Lagerstätte wird offenbar nicht abgebaut.
8. TUTTLE & GITTINS (120), S.504.

II,2,2 Karbonatite

Es handelt sich um extrem SiO_2 -unterschüssige Gesteine magmatischen Ursprungs mit Karbonaten als dominierende gesteinsbildende Minerale, wobei Kalzit, Dolomit und Ankerit vorherrschen. Sulfate, insbesondere Baryt, Phosphate (Apatit), bestimmte Silikate (Phlogopit, Ägirin-augit) und Fluoride (Fluorit) können ebenfalls zu den Komponenten gehören.

Im Vorkommen sind sie an komplexe, meist ringförmig angelegte Intrusionen mit Alkalivormacht gebunden. Oft stellen sie sich als unregelmäßige, massige Körper oder im Ausstrich etwa kreisförmige Schlotfüllungen im Kern der Strukturen ein. Aber auch in den Gangsystemen solcher Ringkomplexe, auch Zentralmassive genannt, werden die Karbonatite - magmatischer bis hydrothermalen Genese - häufig vorgefunden.

Genaue petrographische und mineralogische Aufnahmen besonders der nordamerikanischen und afrikanischen Karbonatite haben gezeigt, daß ihre Intrusionsprozesse von sehr komplexer Art waren. Gewöhnlich lassen sich mehrere asynchrone Intrusionsphasen und hydrothermale Überprägungen nachweisen. PECORA (101) hat darauf hingewiesen, daß die Karbonatite in auffälliger Weise sich nach ihren Akzessorien in zwei Typen gliedern lassen, in Apatit-Magnetit-reiche, oft Nb-mineralisierte Varietäten einerseits (Pyrochlorkarbonatite) und in Seltene Erden-Karbonatite andererseits - wahrscheinlich ein Ergebnis von Differentiationsvorgängen. Die erstgenannte Paragenese scheint an ein frühes Sövit)¹-Stadium der Karbonatitaktivität gebunden, während die Seltenen Erden zusammen mit Sr und Ba in ankeritischen Gesteinen Produkt späterer, z.T. hydrothermalen Phasen sind, und gewöhnlich im Gangsystem auftreten (DEANS (67) S.410).

)¹ Kalzit-Karbonatit

Der rohstoffwirtschaftliche Wert der Karbonatite ist erst mit den fünfziger Jahren erkannt worden, als Karbonatitmassive über die schon lange bekannten europäischen Vorkommen hinaus in allen Teilen der Welt, besonders in Afrika, in der Sowjetunion sowie in Nord- und Südamerika entdeckt wurden. Man weiß heute, daß sie über gewaltige nutzbare Reserven an bestimmten Rohstoffen verfügen, darunter neben Apatit, Sr- und Ba-Mineralen auch über Erze der Elemente F, Nb und der Seltenen Erden, die bisher als typisch für die pegmatitisch-pneumatolytischen Nachphasen der Granite galten. Im Gegensatz zu den Graniten sind in den Karbonatiten die leichteren Elemente kohärenter Gruppen extrem zuungunsten der schwereren fraktioniert: Nb » Ta, Zr » Hf, Ceriterden » Yttererden.

In den Seltene Erden-Karbonatiten ist der Gehalt an Seltenen Erden an eigene Minerale gebunden, von denen besonders die Karbonate Bastnäsit, Synchysit, Burbanakit sowie die Phosphate Monazit und Florenzit häufiger vorkommen.

Der Apatit-Magnetit-Pyrochlor-Typ kann ebenfalls Seltene Erden führen, die sich hier jedoch überwiegend dispers verteilt in Mineralen anderer Elemente eingebaut vorfinden. Einiger wirtschaftlicher Wert kommt dabei den geringen Gehalten des Apatits und Pyrochlors zu, da diese in größerem Maßstab aus Karbonatiten gewonnen und chemisch aufbereitet werden, so daß Konzentrate der Seltenen Erden als Nebenprodukte anfallen.

Zirkon, Perowskit, ihre Varietäten und Umwandlungsprodukte sowie Flußspat verfügen ebenfalls über erhöhte Gehalte an Seltenen Erden.

Die Lagerstätten:

ANDULO . . . behandelt unter: NOVA LISBOA PLATEAU

ARAXA . . . behandelt unter: BARREIRO DO ARAXA

BAILUNDO . . . behandelt unter: NOVA LISBOA PLATEAU

BARREIRO DO ARAXA (Brasilien)

1. Die Lagerstätte befindet sich bei Barreiro, 8 km südlich von Araxa im Staate Minas Gerais.
2. Über einem annähernd kreisförmigen Karbonatit-Alkaligesteinskomplex von 6 km Durchmesser, der in Quarzite der präkambrischen Minas-Serie eingedrungen ist, liegt eine bis zu 100 m mächtige Decke eluvial mit Erzmineralen angereicherter Residualböden.
3. In der Verwitterungsdecke finden sich Apatit (incl. sekundäre uranhaltige Phosphate), Pyrochlor, Baryt und Magnetit in bauwürdiger Konzentration. Darüber hinaus sind verbreitet: Perowskit, Titanit, Ilmenit, Zirkon, Pyrit u.a.; spurenweise kommen vor: Korund, Brookit, Turmalin, Disthen, Monazit, Mossit und Markasit.

Aus den Ergebnissen eines Bohrprogramms wurden bis zu einer Teufe von 45 m folgende Reserven ermittelt)¹:

4 Mio t	Nb ₂ O ₅
130.000 t	ThO ₂
60-90.000 t	S.E.-Oxide
60.000 t	U ₃ O ₈
92 Mio t	Apatiterz mit 12-35 % P ₂ O ₅

Die Gesamtreserven Araxas belaufen sich auf 200 Mio t Erz mit 3% Nb₂O₅. Danach sind etwa 12 Mio t Pyrochlor vorhanden, die um 500.000 t S.E.-Oxide enthalten.

)¹ Die ersten vier Zahlen nach Min.Jour. vom 14.6.1967; die Zahlen zum Apatit aus British Sulfur Corp.Ltd.(117).

Eine Analyse des Pyrochlors liegt vor:

54 % . Nb_2O_5^+	6 % . MnO_2
16 % . CaO	5 % . Fe_2O_3
9 % . ThO_2 incl. 0,22% U_3O_8	2 % . TiO_2
6 % . S.E.-Oxide	2 % . ZrO_2

4. Die Lagerstätte wird im Tagebau auf Apatit und Pyrochlor abgebaut.
6. Die Apatitgewinnungsanlage besitzt eine Kapazität von 200 t Konzentrat p.d.; die Produktionskapazität für Pyrochlorkonzentrat wurde 1968 auf 20 Mio.1b Nb_2O_5 heraufgesetzt (Molycorp Overview, 2, 1969). Die Pyrochlorproduktion ist seit Mitte der 60er Jahre ständig gestiegen: - in t Konzentrat mit 58-59% Nb_2O_5 -

1961 . . . 1528	1968 . . . 4.999
1963 . . . -	1969 . . . 8.663
1965 . . . 1196	1970 . . . 13.280
1967 . . . 4626	1971 . . . 6.180

7. Der Apatit wird von der Fabrica de Fertilizantes de Arasca abgebaut. Die Pyrochlorgewinnung wird von der Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineracao betrieben, an der die Molybdenum Corp.of America mit 33% beteiligt ist.

CANATA behandelt unter: NOVA LISBOA PLATEAU

CAPUIA do.

CHASWETA behandelt unter: FEIRA DISTRIKT

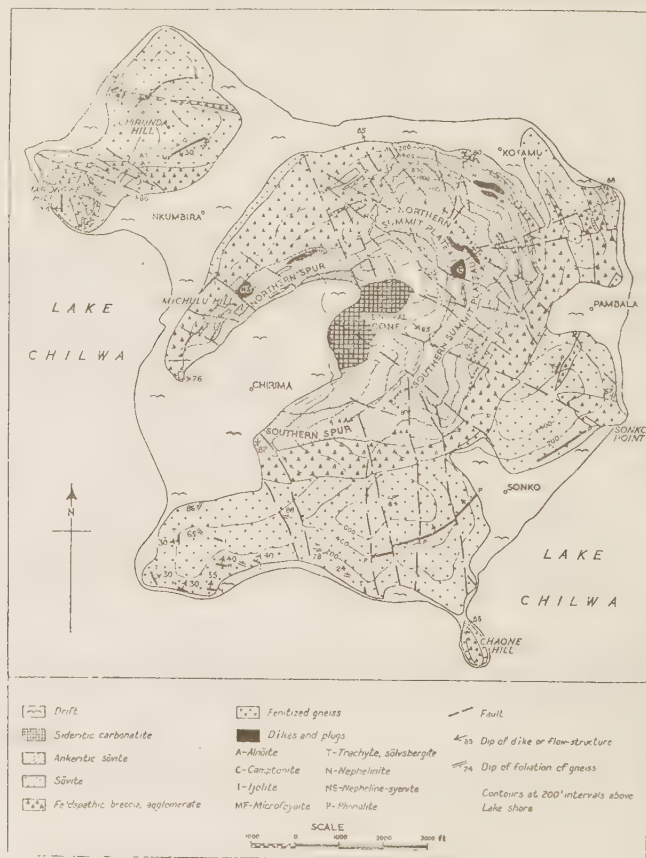
CHIANGA behandelt unter: NOVA LISBOA PLATEAU

⁺ dürfte im Mittel höher liegen, da das Konzentrat ca. 58-59% Nb_2O_5 enthält.

CHILWA ISLAND (Malawi)

1. Es handelt sich um eine Insel im Chilwa See.
2. Der zentrale Karbonatitschlot ist von Brekzien, Agglomeraten und älteren Syeniten und Gneisen umgeben. Seine Gesteine weisen drei Intrusionsphasen aus: sideritischer Karbonatit als jüngster Kern, umrahmt von ankeritischem Sövit, der seinerseits von reinem Sövit umgeben ist. Letzterer wird von jüngeren Sövitgängen durchsetzt.

Abb.13: Geologie des Chilwa Island Ringkomplexes (120).



3. Die Gänge führen Apatit, Siderit und Pyrochlor, untergeordnet auch Magnetit, Pyrit, Baryt, Fluorit, Synchysit und Bastnäsit.

Die Reserven an Böden und Verwitterungsrückständen werden mit 45 Mio t angegeben, darin nur etwa 2 lb/cubic yard Pyrochlor, umgerechnet etwa 21.000 t. Ferner sind 650.000 t Sövit mit ca. 2 % Pyrochlor und weitere niedriggradige Sövitreserven nachgewiesen. Die Gesamtvorräte an Pyrochlor werden auf 100.000 t geschätzt. Der Pyrochlor enthält zu 1 % ThO_2 und gut 1,5 % S.E.-Oxide. Daneben sind 300.000 t Mn und 2000 t Fluorit festgestellt worden.

4. Die Lagerstätte wird nicht abgebaut.

7. Der Rhodesian Selection Trust führte von 1957 bis 1959 Prospektionsarbeiten durch.

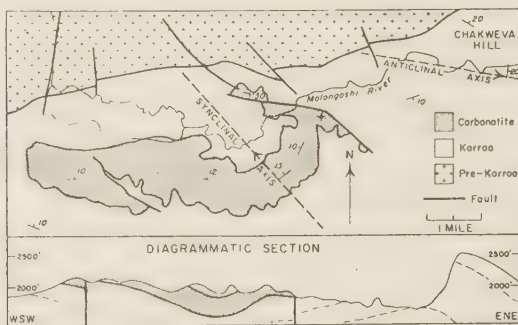
COOLA behandelt unter: NOVA LISBOA PLATEAU

CUIMA do.

FEIRA DISTRIKT (Sambia)

1. Unter diesem Namen wird eine Gruppe von vier Karbonatiten zusammengefaßt, die - bogenförmig angeordnet - zwischen Feira und Lusaka am unteren Luangwa Tal sich erstreckt. Das nördlichste Vorkommen ist KALUWE; südwärts schließen sich an: NACHOMBA, MWAMBUTO und CHASWETA.
2. KALUWE: Es handelt sich um einen langgestreckten, bogenförmigen Ausstrich von 9,5 km Länge und 1-2 km Breite einer brekziösen, muldenförmigen Karbonatitlage, die als Lagergang in Sedimente der Karroo-Formation eingedrungen ist. Sie besteht durchweg aus Karbonatitfragmenten, die von karbonatischer Matrix umgeben sind.

Abb.14: Geologie des Kaluwe Karbonatits; aus (120)

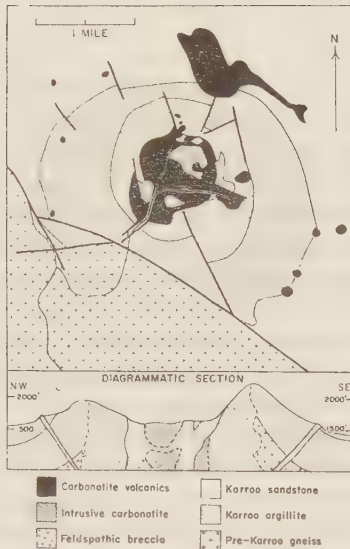


NACHOMBA: Der Karbonatitschlott besitzt einen Durchmesser von etwa 1 km. Sein Gestein wirkt stark beansprucht und silifiziert und läßt drei Generationen erkennen: eine Brekzie aus Karbonatitfragmenten, die feinkörnige karbonatische Matrix und ein System von Karbonatgängen.

MWAMBUTO: Diese Intrusion erscheint ringförmig bei fast 5 km Durchmesser. Im Zentrum streicht ein irregulär geformter, stark silifizierter Karbonatitkörper aus. Daneben gesellt sich ein Komplex aus kalkigen Pyroklastiten, feldspatreichen Brekzien und Karbonatitgängen. (Eine Karte ist auf der folgenden Seite abgebildet)

CHASWETA: Chasweta stellt einen Zwillingsvulkan mit vielen Nebenkratern dar, alle mit kalkigen Pyroklastiten erfüllt. Intrusiver kalzitischer Karbonatit steht lediglich im Hauptschlott an.

3. KALUWE: Die Fragmente führen Martit, Apatit, Vermiculit und etwas Pyrochlor. Die gleichfalls pyrochlor-führende Matrix kann stellenweise bis zu 50 % Martit enthalten.



aus: (120)

Abb.15: Geologie des Mwambuto Hill Karbonatits.

3. NACHOMBA: Apatit, Baryt, Fluorit und Martit sind lokal verbreitet; Pyrochlor ist selten.

MWAMBUTO: Der silifizierte Karbonatit ist mit Baryt, Apatit, Martit, Pyrochlor und akzessorischem Bastnäsit mineralisiert.

CHASWETA: Die Vererzung des Karbonatits besteht aus Martit, Baryt, Monazit, Rutil und Pyrochlor.

Zahlen zu Gehalten und Vorräten sind aus keinem der Vorkommen bekannt.

4. Es geht kein Bergbau um.
5. Erste Versuche des Dept. of Geological Survey zeigten, daß durch direktes Auflösen in Säure mit anschließender Schwereretrennung und magnetischer Separierung ein 70%-iges Pyrochlorkonzentrat erzielt werden kann.
8. BAILEY, D.K. (60)

KALUWE behandelt unter: FEIRA DISTRIKT

KANGANKUNDE HILL (Malawi)

1. Die Lagerstätte befindet sich ca. 64 km nordwestlich der Stadt Zomba im Kasupe Gebiet an der Westseite des Shire Tales.
2. Es handelt sich um einen Karbonatitschlot von ovalem Querschnitt mit Durchmessern von 0,6-1,2 km. Seine Gesteinszusammensetzung besteht von außen nach innen aus Feldspat-Brekzie, karbonatischem Feldspatgestein und ankeritischen Karbonatiten. Karbonatit- und Phonolithgänge durchqueren den Komplex wie die präkambrische Umgebung, in deren Gneisen drei weitere Karbonatitkörper lokalisiert werden konnten.
3. Drei Karbonatittypen kommen vor:
 - feinkörniger sideritischer Karbonatit
 - grobkörniger ankeritischer K. reich an Monazit
 - Karbonatit mit Apatit, Eisen- und Manganoxiden

Die 950.000 m³ flachgründiger Bodenbedeckung verfügen über gut 100.000 t Monazit. Im Anstehenden sind bis zu einer Teufe von 30 m knapp 300.000 t Karbonatit mit 5-10 % Monazit und 10-20 % Strontianit als sichere Reserven ausgewiesen. Der Monazit führt Eu, ist reich an Ce und arm an Th (0,4%).

In Form sphärolitischer Anhäufungen treten auch Florenzit und Synchysit auf.
4. Die Lagerstätte kann im Tagebau abgebaut werden. Der Boden ist mit bauwürdig, so daß Abraum nicht zu erwarten ist. Bisher geht kein Bergbau um.
5. Warren Spring Laboratory entwarf 1967 einen Kalzinierungsprozeß, mit dem bei 60%-iger Ausbringung ein Konzentrat von 87,1 % Monazit hergestellt werden konnte. Dabei wird das Erz zunächst kalziniert, dann gelöscht, aufgeschlämmt und schließlich der Monazit magnetisch angereichert.

7. Lonrho (Malawi) Ltd. erwarb 1967 die Bergbaurechte und führte in den Folgejahren Erkundungsarbeiten einschließlich Aufbereitungsversuche durch.

KARONGE (Burundi)

1. Die aus vier Steinbrüchen (Gakara, Rusutama, Kasenyi, Murambi) bestehende Karonge Mine befindet sich gut 20 km südöstlich Bujumbura am Tanganjika See.
2. In Gakara und Rusutama hält sich die Vererzung an meist NW-streichende Gänge, die sich in der Nachbarschaft einer ENE-streichenden Verwerfung scharen. Gänge und Störung befinden sich in Glimmerschiefern und Quarziten des Ruzizi Systems. Die Mächtigkeit der Gänge schwankt zwischen 2 cm und mehreren dm. In Kasenyi und Murambi finden sich die Minerale der Seltenen Erden in einem Netzwerk vererzter Klüfte in Pegmatitmassen.
3. Bastnäsit ist das neben Eisenoxiden und Monazit vorherrschende Erzmineral.

Über Gehalte und Fördermengen seit Eröffnung der Grube bringt THOREAU (118) die folgende Aufstellung:

F ö r d e r g u t			Verhältnis Bastnäsitgehalt (kg/m ³)		
Berge-m ³ -Erz			Berge/Erz	im Erz	im Fördergut
1948	7.290	470	15,5	53,4	3,2
1949	22.300	1.080	20,6	40,5	1,9
1950	13.200	1.590	8,3	34,2	3,7
1951	23.390	970	24,1	143,5	5,1
1952	28.910	960	30,2	224,0	7,2
1953	118.220	1.790	66,3	205,0	3,0
1954	158.520	1.250	126,6	300,0	2,3
1955	223.840	4.370	51,2	74,5	1,4
1956	214.460	6.540	33,4	54,5	1,6
1957	138.400	4.340	32,0	55,2	1,7

Total: 948.530 23.360

im Mittel: 91,2 2,2

Durchschnittlich ergibt sich daraus 91,2 kg Bastnäsit pro m³ Erz bzw. 2,2 kg pro m³ Fördergut.

Die Gehalte der wenig betriebenen Gruben Kasenyi und Murambi liegen niedriger.

Der Bastnäsit ist thoriumarm (0,02-0,1 % ThO₂) und enthält Ce₂O₃ zwischen 31 und 35 % sowie 35-40 % restliche S.E.-Oxide, darin um 0,25 % Y₂O₃.

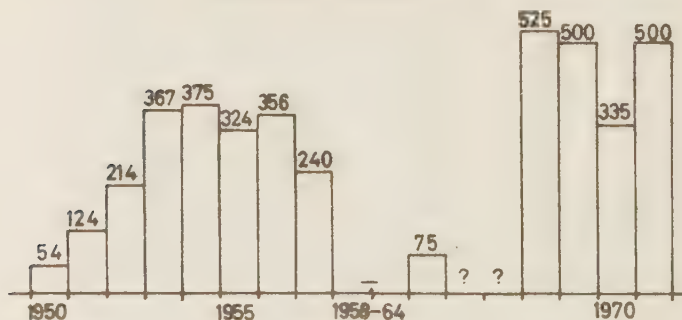
Vorräte: ca. 20.000 t S.E.-Oxide.

4. Der Abbau wird im Strossenbau vorangetrieben. Das Gestein wird geschossen und handsortiert.
6. Die Produktion mußte 1957 vorübergehend eingestellt werden, nachdem der Preis von 40-45.000 F/t für das Bastnäsitkonzentrat mit 60 % S.E.-Oxiden f.o.b. europäischer Hafen der Jahre 1948-52 im Jahre 1957 bis auf 14.000 F/t gefallen war.

1965 konnte der Abbau wieder eröffnet werden; 75 t Bastnäsitkonzentrat wurden produziert, wovon man 10 t sogar in die USA verkaufen konnte.

Einen Überblick über die Produktionsentwicklung der Mine gibt die folgende Abbildung:

Abb.16: Die Produktion der Karonge Mine
in t Bastnäsitkonzentrat



7. Karonge gehört zum Konzessionsgebiet der Société Minière de Muhinga et de Kigali (SOMUKI), deren Tochter Soc. Minière de Karonge (SOMIKA) den Abbau betreibt.
8. THOREAU (118).

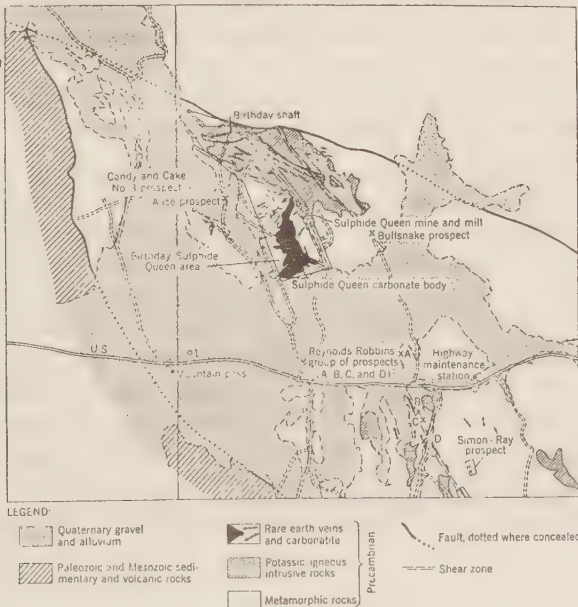
LOGONJO . . . behandelt unter: NOVA LISBOA PLATEAU

MOUNTAIN PASS (USA)

1. Der Bezirk erhielt seinen Namen nach der Mountain Pass Service Station, die sich ca. 56 km östlich Baker und etwa 100 km südwestlich von Las Vegas im San Bernardino County Kaliforniens am US Highway 91 befindet. Vom Highway ausgehende Stichstraßen in den Bezirk machen die Lagerstätten gut erreichbar.
2. Der Mountain Pass Bezirk ist etwa 5 km breit und erstreckt sich über eine Länge von 11 km in nord-westlicher Richtung. Es handelt sich um einen von bedeutenden Verwerfungen begrenzten Block aus prä-kambrischen Metamorphiten und intrusiven Magmatiten, der größtenteils von einer mächtigen Schicht alluvialen Schutts bedeckt ist (vgl. Abb.17).

Abb.17: Geologische Karte des Mountain Pass Bezirks

aus: (79)



Die Magmatite sind kaliumreich und überwiegend SiO_2 -gesättigt. Es dominieren Shonkinit, Syenit und Granit. Der gesamte Komplex wird von vielen, meist karbonatitischen oder shonkinitischen Gängen durchsetzt und zeigt sich von Störungen und Scherzonen beansprucht.

Wesentliche Gehalte an Seltenen Erden sind zunächst (1949) in den Birthday Claims entdeckt worden. Sie verloren jedoch an Interesse nach Auffinden (1950) des massiven Sulfide Queen-Karbonatits. Dieser Intrusionskörper streicht über eine Länge von 800 m aus und fällt mit $35-40^\circ$ nach W ein. Im zentralen und südlichen Teil ist er durchschnittlich gut 60 m mächtig. Petrographisch lassen sich drei Einheiten unterscheiden:

- 1- silifizierter Karbonatit
- 2- Kalzit-Baryt-Karbonatit
- 3- eischüssiger, dolomitischer Karbonatit, offenbar der älteste Teil der Intrusion.

3. Bastnäsit (lokal bis zu 60%), Baryt und Quarz sind die beherrschenden Minerale des silifizierten Karbonatits, der an Störungszonen des Intrusionskörpers auftritt. Kalzit, Hämatit, Monazit, Goethit, Serizit, Bleiglanz und Pyrit gehören zu den Akzessorien.

Der Kalzit-Baryt-Karbonatit ist der verbreitetste Typ des Sulfide Queen-Körpers. Er besteht zu 40-75% aus Kalzit, zu 15-50% aus Baryt und enthält um 10% Strontianit sowie 5-15% Bastnäsit. Akzessorisch treten auf: Phlogopit, Quarz, Goethit, Apatit, Thorit, Orthit, Zirkon, Bleiglanz, Hämatit, Magnetit, Pyrit, Leukoxen und Monazit.

Neben dem vorherrschenden Dolomit sind Kalzit, Baryt, Monazit, Magnetit und Pyrit die Komponenten des dolomitischen Karbonatits, der untergeordnet auch Bastnäsit, Parisit, Sahamalit, Thorit (?), Apatit, Aegirin, Phlogopit, Krokydololith und Chlorit führt.

NW-streichende 0,3-6 m mächtige Scherzonen, die den Sulfide Queen-Körper durchziehen und sich in den umliegenden Metamorphiten fortsetzen, verfügen lokal über Bastnäsit- und Thoritanreicherungen.

In den Birthday Claims treten zahlreiche überwiegend karbonatitische Gänge auf, deren häufigste Paragenese Kalzit (bis 90%), Baryt (5-30%) und Bastnäsit (bis 30%) ist. Es gibt auch hier zahlreiche Begleiter, deren wichtigste Apatit, Pyrit, Bleiglanz, Krokydolith sowie Fe- und Mn-Karbonate sind.

Der Sulfide Queen-Erzkörper ist erst auf knapp 100 m Teufe erbohrt. Dabei sind wenigstens 1,8 Mio.t S.E.-Oxide festgestellt worden (KRUESI & DUKER (150)).

Das Fördergut setzt sich durchschnittlich zusammen aus (CANNON (259)):

40 %	Kalzit
25 %	Baryt
12 %	Bastnäsit
10 %	Strontianit
8 %	Quarz
5 %	Sonstige

Der Bastnäsit enthält gut 70% S.E.-Oxide, die sich durchschnittlich im einzelnen wie folgt verteilen

(Molycorp Overview, 10, 1969):	La	34 %
	Ce	50 %
	Pr	4 %
	Nd	11 %
	Sm	0,5 %
	Eu	0,11%
	Gd	0,2 %
	restl.S.E.	0,2 %

Die Vorräte des gesamten Mountain Pass Bezirks werden auf über 100 Mio.t Erz mit ca. 5% S.E.-Oxiden geschätzt.

4. Abgebaut wird im Südteil des Sulfide Queen-Körpers. Von der mächtigen Schuttbedeckung des Mountain Pass Bezirks ist der Karbonatit ausgenommen, so daß Abraum nicht erforderlich ist. Das Erz wird im Tagebau gefördert. Das Gestein wird geschossen und das Haufwerk von einem $3/4\text{yd}^3$ -Löffelbagger auf 10t-Lastwagen geladen, die es über wenige 100 m zur

Aufbereitungsanlage transportieren.

5. Eine 1966 erstellte Konzentrationsanlage besitzt eine Kapazität von 1100 t Erz/Tag, woraus annähernd 100 t Bastnäsitkonzentrat gewonnen werden.

Das Erz wird gebrochen und in zwei Gängen auf - 100 mesh heruntergemahlen. In Fagergren und Agitair Flotationszellen setzen sich Baryt, Strontianit, Quarz und Kalzit ab. Weitere Flotationsprozesse reichern den Bastnäsit mehr und mehr an, bis zu einem vorläufigen Endprodukt mit 55-60% S.E.-Oxiden. Der Verlust während der Flotation beläuft sich auf etwa 25%.

Das erste Konzentrat gelangt z.T. in dieser Form bereits auf den Markt. Ein anderer Teil dient als Rohstoff für die unternehmensinternen Seltene Erden-Separationsanlagen, insbesondere für die Eu-Gewinnungsanlage am Ort. Der Rest wird weiter konzentriert.

Mittels kontinuierlicher Gegenstromdekantation wird speziell der verbliebene Kalzit entfernt. Das resultierende Konzentrat stellt ziemlich reinen Bastnäsit mit max. 3% Verunreinigungen dar ($0,5-1\%$ BaSO_4 , $0,5-1\%$ SiO_2 , $0,5-1\%$ CaO , $0,3-0,5\%$ Fe_2O_3 und unter $0,1\%$ ThO_2) und enthält zu 68-72% S.E.-Oxide.

Ein Konzentrat mit 85-92% S.E.-Oxide entsteht durch Verflüchtigung des Fluokarbonatanteils mittels Kalzinierung.

6. Die im Mai 1966 in Betrieb genommene neue Konzentrationsanlage ist im Dezember desselben Jahres von 30 Mio.lb auf eine Kapazität von 50 Mio.lb S.E.-Oxide p.a. erweitert worden.

Während der letzten Jahre sind in Mountain Pass täglich über 1000 t Erz gefördert worden. Der Ausstoß der Mine ist umseitig aus Tab.7 zu sehen. Von der Produktion d.J. 1969 - 27,3 Mio.lb S.E.-Oxide, gewonnen aus 259.000 t Erz - sind lediglich Konzentrate von 7,9 Mio.lb S.E.-Oxide verkauft worden; der Rest wurde in eigenen Anlagen weiterverarbeitet (vgl.S.151).

Tab. 7: Produktion der Mountain Pass Mine
(in Mio.lb S.E.-Oxide)

1962	1,1	
1963	1,5	
1964	3,0	Quellen:
1965	6,0	bis 1969: (299)
1966	25,2	ab 1970: (275)
1967	25,5	
1968	23,0	
1969	27,3	
1970	20,1	
1971	21,7	

Der Preis für Bastnäsitkonzentrat lag 1967 bei etwa \$ 0,75 pro kg enthaltene S.E.-Oxide; er ist Anfang 1969 bis auf \$ 0,66 zurückgenommen worden.

7. Der Sulfide Queen Karbonatit gehört zum Konzessionsgebiet der Molybdenum Corporation of America (Molycorp), die auch den Abbau betreibt. Darüber hinaus befindet sich der größte Teil des Mountain Pass Distrikts in ihren Händen.
8. JOHNSON, N.L. (83), PRAY, L.C. (102), OLSON (98), CANNON, J.G. (259).

MRIMA HILL (Kenia)

1. Mrima Hill liegt ungefähr 8 km südöstlich von Jombo und doppelt so weit vom Indischen Ozean entfernt, nahe an der Grenze zu Tansania. Unweit der Lagerstätte führt die Straße Mombasa-Daressalam vorbei. Bis nach Mombasa, Kenias wichtigster Hafenstadt, sind es nur etwa 80 km.
2. Der gangähnliche Karbonatit am Nordhang des Mrima Hill wird als ein Teil des 3 km abseits gelegenen Jombo-Alkaligesteinskomplexes angesehen. Der 2,5 km² umfassende Ausstrich des Karbonatits ist zu über 99% tiefgründig zu Laterit verwittert.
3. In diesen durchschnittlich 10 m, lokal bis über 30 m mächtigen lateritischen Böden sind Monazit, Pyrochlor und andere Seltene Erden-Träger angereichert.

90 Mio.t dieser feinkörnigen Verwitterungsdecke sind nachgewiesen. Darin sind 0,7-2,7, durchschnittlich etwa 1,3% Pyrochlor enthalten. 6 Mio.t davon führen zu 5% S.E.-Oxide, meist in erdigen sekundären Phosphaten gebunden oder als thoriumarmer (unter 1% ThO_2) Monazit vorliegend. Baryt bietet sich als Nebenprodukt an.

4. Noch 1971 ging kein Bergbau um.
7. Die zur Anglo American Corp. of South Africa Ltd. gehörende Anglo American Prospecting Co.(Africa) Ltd. führte von 1956-57 Prospektionsarbeiten durch. Seit Ende der 60-er Jahre ist die Péchiney-St.Gobain-Gruppe dabei, Mrima Hill zu erschließen.

MWAMBUTO . . . behandelt unter: FEIRA DISTRIKT

NACHOMBA . . . do.

NGUALLA (Tansania)

1. Die Hügelgruppe befindet sich 32 km östlich des Rukwa Troges und ca. 110 km nordwestlich Chunya. Eine Stichstraße ist bis zur Lagerstätte vorgetrieben worden.
2. Der Karbonatit intrudierte präkambrische Porphyre, die er in einem Umkreis von 350-900 m Breite umgewandelt (femitisiert) hat. Er setzt sich aus zwei massiven Sövitpartien und einem dicht von Gängen durchzogenen Sövit-Restbereich zusammen. Der Durchmesser des Karbonatitausstrichs beträgt 3-4 km. In den umgewandelten porphyrischen Rahmen greifen bis 550 m weit bogenförmig karbonatitische, von 0,3 bis 4,5 m mächtige Gänge ein, die randlich auch in den Karbonatitkern setzen.
3. Die beiden massiven Sövitkörper führen u.a. Magnetit,

Hämatit, Fluorit und etwas Parisit.

Der brekziöse Bereich ist vielfältiger mineralisiert und führt Pyrit, Ilmenit, Leukoxen, Rutil, Monazit, Zirkon, Columbit und Pyrochlor. Gänge, die Fluorit, Kupferkies und Bleiglanz enthalten, kommen vor.

Zahlen liegen nur zum Pyrochloregehalt vor. So ist er im Sövit bis max. 0,059 %, in den lateritischen Böden bis max. 0,58 % und in Bodenumlagerungen zu 0,32 % vertreten. Monazit ist in den Böden ebenfalls eluvial angereichert.

4. Abbau wird nicht betrieben.

NKALONJE-MATOPON-RINGKOMPLEX (Malawi)

1. Das Vorkommen liegt 10 km südlich vom Chilwa See.
2. Dieser Ringkomplex am Nkalonje Hill zeichnet sich durch zwei separate Zentren aus. Schmale Alkaligesteins- und Karbonatitgänge scharen sich um die beiden Schlote aus Agglomeraten.
3. Sideritische Sövite führen Pyrit, Zinkblende, Apatit, Fluorit, Florenzit und andere Fluokarbonate der Seltenen Erden. Ein 1,80 m mächtiger Gang enthält bis zu 1% Pyrochlor.
4. Bergbau geht nicht um.

NKOMBWA (Sambia)

1. Nkombwa Hill liegt 24 km östlich von Isoka im oberen Luangwa Tal.
2. Der Karbonatitschlot hat ovalen Umriß (1,9 x 0,8 km) und durchschlägt präkambrische Biotitgneise. Der äußere Ring besteht aus Phlogopit-Brekzie, der sich nach innen ankeritischer Rauhaugit und silifizierter Karbonatit anschließen.
3. Der Karbonatit verfügt akzessorisch über Zirkon, Apatit, Pyrit, Magnetit, Ilmenit, Baryt, Isokit,

Monazit, Pyrochlor und Sellaït.

Eine vorläufige Beprobung des etwa 1 km² großen Karbonatitareals ergab einen Durchschnittsgehalt von 0,25 % Pyrochlor, der immerhin 2% U₃O₈ und 0,5% ThO₂ enthält. Der Monazit erwies sich als praktisch Th-frei; seine Gehalte werden nicht genannt. Pyrochlor wie Monazit sind in der Verwitterungsdecke angereichert.

4. Es geht kein Bergbau um. Böden und Primärgestein wären ohne Abraum abbaubar.

NOMOKHTOOKH und YARGA (Sowjetunion)

1. Die Karbonatite befinden sich am linken Ufer der Flüsse Staraya bzw. Yarga, nordnordöstlich der Ortschaft Staraya am Ostrand des Anabar Plateaus.
2. Es handelt sich um zwei größere Körper einer dicht besetzten, nord- bis nordöstlich streichenden Reihe vulkanischer Karbonatitschlote. Die Schlotbrekzien bestehen aus Sedimentgesteinen der Umgebung und Xenolithen des kristallinen Untergrundes, zementiert durch Karbonatit.
3. Darin finden sich akzessorisch: Pyrochlor, Baddeleyit, Zirkon, Columbit, Fersmit, Monazit, Ilmenit und Thorit. Die fenitisierte Umrahmung der Schlote enthält ebenfalls Pyrochlor, dazu Apatit und Magnetit.
4. Bergbau wird nicht betrieben.
8. MARSHINTSEV, V.K. & BALAKSHIN, G.D. (92).

NOVA LISBOA PLATEAU (Angola)

1. Auf dem Nova Lisboa Plateau sind zwischen Ganda und Andulo entlang eines NW-streichenden Gürtels elf Alkaligesteins- und Karbonatitkomplexe bekannt geworden. Die wichtigsten sind von SW nach NE: Cuima, Logonjo, Chianga, Coola, Capuia, Bailundo, Canata und Andulo.

CUIMA: Über Cuima liegt wenig Information vor.

3. Die Lagerstätte gehört zu den wichtigsten Eisen-
erzvorkommen Angolas und soll nennenswerte Gehalte
an Seltenen Erden führen.
7. Sie ist in Händen der Companhia Mineira do Lobito
und befindet sich in Produktion.

LOGONJO:

2. Der Ringkomplex streicht mit einem Durchmesser von
7-8 km zu Tage aus, wovon etwa 2 km auf einen brek-
ziösen karbonatitischen, randlich syenitischen Kern
entfallen. Der Außenring besteht aus umgewandeltem
präkambrischen Grundgebirge, von Tuffen bedeckt.
3. Der Karbonatit ist lokal von Hämatit und Magnetit
verdrängt und führt ferner Columbit, Pyrochlor,
Apatit, Baryt, Fluorit, Mn-Oxide und Minerale der
Seltenen Erden. DE KUN (69) gibt folgende Durch-
schnittsgehalte für Th und ausgewählte S.E. an:

	Primärgestein	Böden
ThO ₂	0,83 %	1,03 %
Ce ₂ O ₃	0,62 %	0,87 %
La ₂ O ₃	0,09 %	0,11 %

Darüber hinaus ist im Kontaktring Pyrochlor zu
etwa 0,5% vorhanden.

CHIANGA:

- 2.,3. Diese Struktur, 10 km ENE von Nova Lisboa, ist
überdeckt von einer Schicht sekundär angereicher-
ter Fe- und Mn-Erze. Spärliche Aufschlüsse kenn-
zeichnen das Primärgestein als heterogen zusam-
mengesetzt aus Karbonatiten, porphyritischen
Nephelinsyeniten, Basalten, Phonolithen, Brek-
zien und Tuffen. Der gesamte Komplex hat einen
Durchmesser von 5-6 km. Thorium und Seltene
Erden sind vorhanden, jedoch in geringerer Kon-
zentration als in Logonjo.

COOLA:

2. Der Komplex baut sich aus zwei, ca. 1 km auseinander liegenden Ringstrukturen auf, von denen die nördliche einen Durchmesser von 2,2 km und die südliche von 1,5 km besitzt. Das Nordvorkommen besteht aus porphyritischem Biotit-Granit und wird von einem mächtigen brekziösen Gang trachytisch-andesitischer Zusammensetzung durchschnitten. Der südliche Intrusionskörper besitzt einen äußeren Ring aus hämatitreichem Karbonatit. Den Kern bilden reinere Karbonatite.
3. Hämatit ist lokal stark angereichert. Seltene Erden- und Thorium-Mineralisierung kommt vor.

CAPUIA:

- 2., 3. Capuia besitzt einen runden Karbonatitkern von 4 km Durchmesser, der von Tuffen und Agglomeraten umgeben ist. Sowohl die Mangankonkretionen führende Außenzone als auch der lokal silifizierte Karbonatit verfügen über Magnetitkonzentrationen sowie Nb-, Th- und S.E.-Vererzungen. Die Gehalte an ThO_2 und S.E.-Oxiden zusammen bewegen sich zwischen 0,1 und 5,8 %.

BAILUNDO:

2. Die Ringstruktur Bailundo besitzt einen Karbonatitkern von 1-2 km Durchmesser, der von stark umgewandeltem Syenit umgeben ist. Ein 3-4 m mächtiger Gang vulkanischer Brekzie durchquert den Syenit.
3. Im Süden und Westen des Ganges sitzen zwei Massentitanreichen Magnetits. Der Karbonatit baut sich im wesentlichen aus Kalzit und Eisen- und Manganoxiden auf. Akzessorisch enthält er u.a. Baryt, Pyrochlore, Rutil und Th-S.E.-Minerale. Das Vorkommen gilt als Eisenerzlagerstätte mit beträchtlichen Gehalten an Mn und Ti. Die Th- und S.E.-Gehalte sollen zwischen 0,1 und 5,8 % liegen.

- 6.,7. Die Lagerstätte wird im Tagebau von der Companhia Mineira do Lobito bewältigt, die 1969 nahezu 5 Mio.t und 1970 etwa 6 Mio.t Eisenerz aus all ihren Wirkungsstätten produzierte. Die portugiesische Regierung ist mit 85% an dem Unternehmen beteiligt. Zur Verbesserung der Nebenmetallgewinnung hat die Gesellschaft 1970 Kontakte mit US-amerikanischen Stahlfirmen aufgenommen.

CANATA:

2. Der 10 km Durchmesser besitzende, von Hügeln umkränzte Krater eines erloschenen Vulkans schließt karbonatitische und syenitische Gesteine mit Agglomeraten und Tuffen ein.
3. Die Hauptvererzung hält sich an Verdrängungsmassen aus Hämatit und titanhaltigem Magnetit. Seltene Erden-, Thorium- und Niobminerale treten auf, jedoch zu niedrigeren Gehalten als in Bailundo.

ANDULO:

3. Das nördlichste Vorkommen der Nova Lisboa Karbonatite darf ebenfalls als Eisenlagerstätte gelten. Thorium- und Seltene Erden-Vererzungen sind vorhanden.
4. Abgebaut wird wahrscheinlich noch nicht.
7. Die Bergbaurechte befinden sich im Besitz der Companhia Mineira do Lobito.

POWDERHORN BEZIRK (USA)

1. Der Bezirk liegt direkt südlich Powderhorn und etwa 30 km südwestlich von Gunnison im Gunnison County, Colorado.
2. Es handelt sich um einen etwa 31 km² umfassenden Ausbiß von alkalibetonten Gesteinen, die in eine präkambrische Umgebung eingedrungen sind (vgl. Abb. 18 auf der nächsten Seite).

Abb.18: Powderhorn (nach TEMPLE & GROGAN (116))



In der näheren Umgebung der Intrusion sind die präkambrischen Metamorphite und Magmatite von isolierten Karbonatitkörpern und thoritführenden Gängen durchsetzt, deren Mächtigkeit zwischen einigen cm und 5,5 m variiert und deren Ausstrichlänge von wenigen m bis zu 1 km reicht.

Die Gesteine des Intrusionskörpers selbst bestehen zum überwiegenden Teil (70%) aus Pyroxenit mit Magnetit-Perowskit-Erz. 17% des Ausstrichs beansprucht der Karbonatit und die restlichen 13% verteilen sich auf verschiedene Alkaligesteine (vgl. Abb.18).

3. Eine Übersicht über die Metallgehalte in den verschiedenen Gesteinen der Powderhorn Intrusion geben TEMPLE & GROGAN (116). Daraus wird ersichtlich, daß interessante S.E.-Gehalte vor allem aus den folgenden Bereichen zu erwarten sind, wobei die Ceriterden weitaus überwiegen:

--aus dem Karbonatit und insbesondere dessen verwitterte Partien, die sich mit über 4% S.E. deutlich herausheben und nur noch von seinen sideritischen Gängen mit über 7% S.E. übertroffen werden. Monazit, Pyrochlor, Bastnäsit, Synchysit und Apatit (mit 0-5% S.E.-Oxide) sind hier die Träger der Seltenen Erden.

--aus dem Magnetit-Perowskit-Erz mit allein 2% La und Ce. Hier sind die Seltenen Erden an den Perowskit gebunden.

--und aus dem Fenit, der deutlich über 1% Seltene Erden enthält.

Wegen der auffälligen Ti-, Nb- und S.E.-Gehalte des Intrusionskörpers und der Th-Führung seiner Umgebung sind mehrfach Prospektionsarbeiten seit Ende der 50-er Jahre durchgeführt worden. Einige Ergebnisse liegen vor:

--über 100 Mio.t Erz mit 6,5% TiO_2 und 11,7% Fe wurden nachgewiesen;

--die Vorräte an Nb_2O_5 in Gesteinen, die mindestens 0,25% Nb_2O_5 führen, übersteigen 100.000 t.

Über die Seltenen Erden sind keine Vorratsberechnungen bekannt, jedoch erreichen sie hohe Gehalte auch dort, wo Nb seine Spitzenwerte erzielt, so daß ein Mehrfaches der für Nb_2O_5 angeführten Reserven von 100.000 t an S.E.-Oxiden zu erwarten ist. Auch in den 100 Mio.t Ti-reichen Erzes dürften beträchtliche Mengen an S.E. enthalten sein.

4. Abbau ging bisher nicht um, mit Ausnahme einiger begrenzter Operationen für Aufbereitungsversuche. Es ist geplant bei Bedarf einen Tagebau einzurichten, der später durch Untertageanlagen ersetzt werden soll.
7. Du Pont besitzt die Konzessionen von mehr als der Hälfte des Bezirks.
8. TEMPLE & GROGAN (116).

WIGU HILL (Tansania)

1. Das Vorkommen liegt südlich vom Uluguru Gebirge, knapp 70 km südwärts von Morogoro im Morogoro Distrikt Ost-Tanganjikas.
2. Auf einer Fläche von ungefähr 1,5 x 5 km durchsetzen dolomitische Karbonatitgänge und karbonatitische Schlotbrekzien umgewandelte präkambri-
3. sche Gneise. Die Sr-reichen Gänge sind mit Bastnäsit, Monazit, Florenzit, Zinkblende, Pyrit und Baryt vererzt. Auch etwas cerhaltiger Goyazit kommt vor.
Die Gänge sind um 1 m mächtig und halten gewöhnlich um mehr als 150 m im Streichen aus. Sie verfügen oft über mehr als 10% S.E.-Oxide und können bis 20% erreichen, wobei die Ceriterden überwiegen. Monazit ist in den Böden zusätzlich angereichert.
7. Wigu Hill gehörte zum Konzessionsgebiet der New Consolidated Goldfields Ltd., die Ende der 50-er Jahre erste Prospektionsarbeiten durchführte.

YARGA behandelt unter: NOMOKHTOOKH und YARGA

11,2,3 Lagerstätten der granitischen Abfolge

Während der Hauptkristallisationsphase der granitischen Gesteine sind die Seltenen Erden wie viele andere Schwermetalle nur begrenzt einbaubar, so daß aus Graniten selbst nur selten bauwürdige Konzentrationen bekannt sind. Erst in den Gängen, Verdrängungskörpern und Imprägnationszonen der pegmatitischen bis hydrothermalen Nachphasen finden sich jene Elemente mehr oder weniger angereichert vor, die von der Hauptkristallisation nicht "verdaut" wurden. Auf diese Weise formten sich Lagerstätten der verschiedensten Rohstoffe, die oft von Seltenen Erden begleitet sind.

Die Pegmatite haben ihre Hauptverbreitung in den zentralen, stark metamorphen Teilen von Orogenzonen, wo sie Differentiationsprodukte oft umfangreicher Granitisationen darstellen dürften. Unmittelbare und häufige Begleitgesteine sind Amphibolite, Granitgneise und Granite. Die meisten dieser Pegmatite sind auf den Alten Schilden angesiedelt, weil die jüngeren Orogenzonen überwiegend noch nicht bis auf das tiefe Stockwerk ihres Vorkommens abgetragen sind.

Untergeordnet treten Pegmatite auch in der Dachregion intrudierter Granite auf, dort eng mit den Bildungen der tiefer temperierten Spätphasen des Intrusionsvorganges verknüpft. Ublicherweise sind die Lösungen der Nachphasen sehr aggressiv, und können Pluton, Pegmatit und Nebengestein umwandeln und erneut mineralisieren.

Es gibt eine ganze Reihe von Pegmatitrevieren auf der Erde, die Erze der Seltenen Erden als Nebenprodukte abwerfen. In Europa beispielsweise die Felder von Sørland und Østfold (Norwegen) oder die SW-Schwedens und das Stockholmgebiet. In den USA ragen die Pegmatite von Colorado und Texas (Baringer Hill) heraus. In Brasilien werden gelegentlich handgeklautbe Monazit-

oder Samarskitkonzentrate aus der Borborema angeboten. Auch Madagaskar, Mosambik, Sambia, Rhodesien und Namibia sind bekannt für ihre S.E.-Pegmatite. Kleine Gruben in Indien und Shri Lanka liefern Samarskit und Thorit; Japan gewinnt Monazit und Thorit aus Pegmatiten. Darüber hinaus sind große, z.T. auch S.E.-führende Reviere aus der Sowjetunion und der Mongolischen VR (z.B. Hangay-Hentey) bekannt.

Das Angebot aus diesen Lagerstätten ist jedoch gering, so daß mit wenigen Ausnahmen auf eine nähere Behandlung der Vorkommen verzichtet wurde.

Die Lagerstätten:

ALTO LIGONHA (Mosambik)

1. Das Alto Ligonha Feld setzt bei Mocuba ein und erstreckt sich über 200 km nach NE. Es liegt etwa 100 km entfernt von der Küste zum Indischen Ozean zwischen der Hauptstadt Mosambik und der Mündung des Sambesi.
2. Bei dem Vorkommen handelt es sich um weit gestreute, z.T. umfangreiche und oft tiefgründig verwitterte Pegmatitkörper, die im Granit oder den ihn umgebenden Schiefern Platz genommen haben.
3. An Mineralen der Seltenen Erden treten Samarskit, Monazit, Orthit, Gadolinit, Euxenit und Xenotim auf.
- 4., 6. Die Abbaumethoden sind primitiv, mittels Handklaubung wird konzentriert. Sprengungen sind kaum vonnöten, da die Pegmatite bis zur Abbau-sohle verwittert sind (PUTZER (104)). Naturgemäß haben die Unternehmen auch mit den üblichen Problemen des Pegmatitbergbaus zu kämpfen, wie z.B. Unberechenbarkeit der Mineralisierung und geringe Durchschnittsgehalte. Dem begegnet man

mit der Produktion vieler Minerale. Das veranschaulicht Tab.8, die den Ausstoß des Alto Ligonha Feldes betrachtet, wobei nur ein Teil der Produkte Berücksichtigung fand:

int nach PUTZER (104) und DE KUN (69)			
Columbit-Tantalit	1937-63: 1267	1962: 110	
Beryll	1949-63: 11584	1962: 440	
<u>Samarskit</u>	-	1937-58: 20	
		(Wert: \$ 10.000)	
<u>Monazit</u>	-	1937-58: 15	
Lithium-Erz . . .	1949-63: 5528,7	1962: 200	
Turmalin	-	1937-58: 1,4	
Kaolin	-	1937-58: 650	
Bismutit	1950-63: 90,9	1962: 15	
Glimmer	1956-62: 53	1962: 1	

7. Die Soc. Mineira do Marropino mit 900 Beschäftigten, die Empresa Mineira do Alto Ligonha mit 400 Arbeitern sowie die Monteminas Ltda. und die Soc. Mineira de Mutala gehören zu den wichtigsten Produzenten des Reviers.

BEFANAMO (Madagaskar)

1. Das Vorkommen befindet sich 160 km nördlich von Tananarivo am Oberlauf des Betsiboka.
2. Die Lagerstätte ist ein flach einfallender, linsenförmiger Granitpegmatitkörper.
3. Der Pegmatit ist durch seinen Thortveitit- (Befanomit-) Gehalt bekannt geworden.
4. Mit den sechziger Jahren wurde der Abbau einstweilig eingestellt und die Grube mit Abraum zugesetzt. Es war geplant, Prospektionsarbeiten zur Erkundung des weiteren Verlaufs der Pegmatitlinse durchzuführen.
6. Bis dahin hatte man 38 kg Konzentrat gewonnen, die ausschließlich an das Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) nach Frankreich verkauft wurden. Das Produkt besitzt mit F 150/g (1960) einen sehr hohen Handelswert. Madagaskar gehörte damit zu den wenigen Sc-Erz-Produzenten.

KORSNAS MINE (Finnland)

1. Die Mine liegt an der Westküste Finnlands, ca. 40 km südwestlich von Vaasa.
2. Bergbaubjekt ist ein Feldspat-Kalzit-Gang, der präkambrische Migmatitgneise durchquert. Er streicht N-S und fällt mit annähernd 45°E.
3. Neben den Komponenten Kalifeldspat, Kalzit, Diopsid und Skapolith sind Baryt, Apatit (der Monazit staub-ähnlich eingelagert enthält), Bleiglanz, Magnetkies, Pyrit, Bastnäsit, Orthit und in Kavernen brekziöser Partien Zeolithe vorhanden.
Die verbliebenen Erzreserven werden auf 200-300.000 t mit durchschnittlich 3,3% Pb und 0,8% S.E.-Oxide geschätzt.
4. Die Mächtigkeit des Ganges schwankt zwischen 2 und 20 m. Der Abschnitt, der abgebaut werden kann, ist etwa 300 m lang und reicht bis zu einer Teufe von annähernd 160 m.
5. Das Erz wird durch Flotation konzentriert; erst wird der Bleiglanz flotiert, aus den Rückständen dann die S.E.-Minerale. Das S.E.-Konzentrat enthält zwischen 3,2 und 3,5% S.E.-Oxide.
6. Die Produktion der niedriggradigen Konzentrate begann 1966 und erreichte bis Ende 1969 insgesamt 35.000 t. Min.Ann.Rev. 1969 u.'72 nennt die folgenden Zahlen:

1965	-	1969	10.117 t
1966	2.600 t	1970	6.750 t
1967	14.127 t	1971	1.240 t
1968	12.152 t		

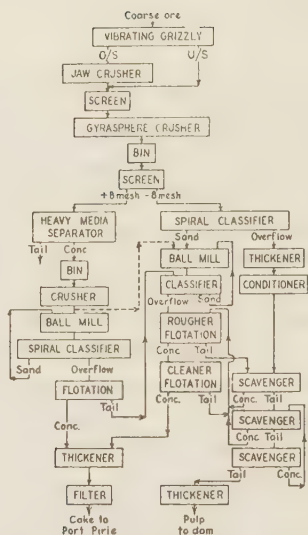
- Die Konzentrate werden an die Typpi Oy verkauft, die in ihrem Aufbereitungswerk bei Oulu die weitere Konzentrierung vornimmt und die S.E. separiert(s.S.157).
7. Die Grube wird von der staatlichen Outokumpu Oy betrieben.

RADIUM HILL (Australien)

1. Die Lagerstätte befindet sich am gleichnamigen Ort, 465 km nordöstlich von Adelaide in South Australia.
2. In präkambrischen Gneisen und Amphiboliten scharen sich Verwerfungen, die mit etwa 60° E einfallen.
3. Sie sind neben Rutil, Hämatit, Magnetit und Ilmenit u.a. mit Davidit vererzt, dem der Abbau gilt.
4. Die Lagerstätte wurde im Tiefbau aufgeschlossen. Von elf Sohlen (in 30m- und 45m-Abständen) eines bis auf 420 m abgeteuften Schachtes sind Strecken vorgetrieben worden, die die Gänge durchstoßen. Querschnitte verfolgen die Gänge. Wo das Erz bauwürdig erschien wurden Aufhauen geschlagen, von denen aus man selektiven Abbau betrieb, indem man den Stoß ständig mit Geigerzählern überprüfte. Das geschossene Erz verlud man über Rutschen in Wagen, die von E-Loks zum Förderschacht gezogen wurden. Die für Betrieb und Mannschaftslager notwendige elektrische Energie bezog man über eine 210 km lange Leitung aus dem Verbundnetz. Eine 85 km lange Wasserleitung brachte Frischwasser aus einem Reservoir bei Umberumberka nahe Broken Hill in einen 8,8 Mio. l fassenden Vorratsbehälter bei Radium Hill. Eine kleine Bergbaustadt von etwa 160 Häusern und 1000 Einwohnern war bei der Lagerstätte entstanden.
5. Das Fördergut war für das chemische Aufbereitungswerk bei Port Pirie vorgesehen, das mit Schwefelsäurelaugung arbeitet. Um diesen Prozeß nicht unwirtschaftlich werden zu lassen, mußte ein großer Teil der säureverbrauchenden Berge vorweg entfernt werden. Das gelang in Radium Hill mit einem Aufbereitungsgang vom umseitig abgebildeten Schema, mit dem man eine sechsfache Konzentrierung des Erzes erreichte.

Abb.19

Fließbild der Radium Hill
Aufbereitungsanlage
nach WOODCOCK (131).



Das Vorkonzentrat, in dem die oxidischen Erze angereichert waren, ging per Bahn nach Port Pirie, wo Konzentrate von U_3O_8 und reinen und gemischten S.E.-Oxiden extrahiert wurden (vgl.S.146).

6. Radium Hill befand sich von 1954 bis 1962 im Abbau, der von einer staatlichen Gesellschaft geführt wurde. Zahlen zur Produktion sind nicht veröffentlicht. Sie war offenbar recht beträchtlich gewesen. So soll allein für £ 17,5 Mio. U_3O_8 gewonnen worden sein (McLEOD (89)), und die Halden bei Port Pirie bedecken immerhin eine Fläche von 28,3 ha.

STEENKAMP'S KRAAL (Südafrika)

1. Die Grube befindet sich nahe der namengebenden Farm im Namaqualand (Cape Province), rund 80 km nördlich der Ortschaft Van Rhynsdorp und 32 km östlich von Bitterfontein.
2. Der Monazitgang verläuft inmitten einer E-W-streichenden, einen präkambrischen Granitgneis durchquerenden Scherzone. Er streicht auf einer Länge

von 300 m aus, wobei, die westlichen 200 m zwischen 0,3 und 1,5 m mächtig sind. Auf den verbleibenden 100 m verjüngt er sich bis auf wenige cm und endet als tauber Quarzgang im Gneis.

3. Die Mineralführung beschränkt sich im wesentlichen auf die Paragenese Monazit, Apatit und Quarz, die sekundär-hydrothermal mit Kupfererzen, Pyrit und Hämatit imprägniert ist.

Die höchstgradigen Erze führen bis zu 75% Monazit. Abseits dieser lokalen Spitzenwerte fällt der Monazitgehalt rasch auf etwa 20% ab.

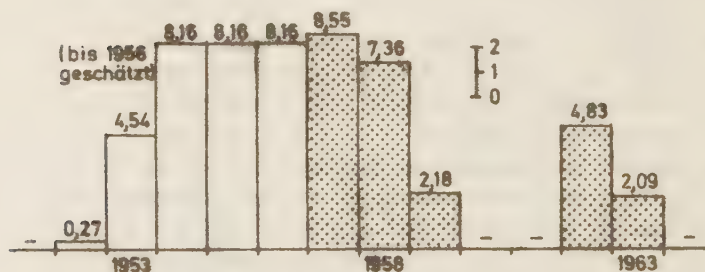
Die Reserven des zwischen 6 und 8% ThO_2 enthaltenden Monazits wurden Ende der 50-er Jahre auf 250.000 t geschätzt.

- 4.5. Die Mächtigkeit des Ganges wächst in etwa 30 m Teufe auf max. 10 m an. In diesem Bereich wurde von einem geneigt abgeteuften Schacht aus untertage abgebaut. Dem Schacht war eine Anlage aus zwei hintereinandergeschalteten Brechern aufgesetzt. Über ein Förderband gelangte das zerkleinerte Gut in eine Kugelmühle, wo es gemahlen und anschließend naß klassiert wurde. Der Überlauf der Mühle durchlief nicht näher beschriebene Flotationsprozesse, aus denen das Monazitkonzentrat und ein Kupfererzkonzentrat resultierte. Der Monazit war stark verunreinigt, so daß das Konzentrat mit 46-49% S.E.-Oxide, ca. 6% ThO_2 und 0,12% U_3O_8 nicht die Güte des Angebots aus Seifenlagerstätten (mit durchschnittlich etwa 60% kombinierte Oxide) aufwies. Es erzielte deshalb auf dem amerikanischen Markt mit 14c/lb (1958) auch nur etwa 70% des Preises für Monazitkonzentrate aus Seifen.

6. Steenkamp's Kraal war jahrelang der Hauptmonazitlieferant für die USA und Großbritannien. 1958 liefen die Abnahmeverträge aus, so daß die Grube

die Produktion 1959 vorübergehend einstellen mußte. Aufgrund eines neuen Vertrages mit der American Potash & Chemical Corp. auf Lieferung von 7.200 t Konzentrat mit mindestens 5% ThO_2 wurde die Produktion nochmals aufgenommen und nach Erfüllung im Frühjahr 1963 endgültig eingestellt. Insgesamt wurden fast 55.000 t Monazitkonzentrat gewonnen. Das Histogramm veranschaulicht die Entwicklung:

Abb.20: Die Produktion der Grube Steenkamp's Kraal.
(in 1000 t Monazitkonzentrat nach Angaben des U.S.Bureau of Mines)



7. 1950 erwarb die Anglo American Corp. of South Africa die Bergbaurechte, führte Prospektionsarbeiten durch und gründete 1952 die Monazite & Mineral Ventures Ltd., die noch im selben Jahr mit dem Abbau begann.

8. McCONACHIE, H. (88).

Wie bereits erwähnt, beschränkt sich die Vererzung auf meist kleine, unregelmäßig gestaltete Körper. Der sie umschließende Granatskarn ist taub. Um die Verdünnung der Erze einzuschränken, wird ein selektiver Abbau durchgeführt, der durch die folgenden Arbeitsgänge gewährleistet ist:

--geologische Aufnahme der Abbauwände

nach jeder Schußserie werden die Wände abgewaschen und ihre mineralogische Zusammensetzung visuell und mit Geigerzählern geprüft. Störungen werden eingemessen. Alle Ergebnisse werden kartiert. Diese Arbeit wird täglich durchgeführt.

--Probenahme

an geeigneten Stellen werden 2 m hinter der Abbaufont und in Abständen von 2,5 m Probebohrungen bis zu 20 m Teufe niedergebracht. Sie werden ebenso regelmäßig auf ihren Erzgehalt untersucht wie die eingebrachten Sprenglöcher.

--Selektives Sprengen

Die Ergebnisse der Probenahme führen zu unterschiedlichen Anordnungen für die Durchführung der Sprengungen. Im Gegensatz zum tauben Gestein werden für die Erzzone oft sehr komplizierte Sprengverfahren erforderlich. Die durchschnittliche Leistung der Sprengungen beläuft sich auf:

	Abraum	Erz
t pro gebohrte 30 cm	20	5
t pro lb Sprengstoff	4	4

--Kontrollen

Das als Abraum geschossene Material wird vor dem Verladen nochmals mit Geigerzählern überprüft. Erzbrocken werden mit einem roten Kreuz gekennzeichnet und von den Baggern aussortiert. In gleicher Weise wird das Erz kontrolliert; Bergebrocken werden mit einem weißen Kreuz markiert und entfernt. In einer normalen Schicht können zwei Mann 100 t Gestein sortieren. Das Gestein wird anschließend auf Lkws geladen, die einen "discriminator" passieren müssen, der die Ladungen ein letztes Mal mit sechs Geigerzählern genau überprüft und als Abraum oder Erz klassifiziert. Das Erz gelangt anschließend in die Aufbereitung.

Im Jahre 1962 erreichte die Grube ihre größte Effektivität mit 78,5 t Erz pro Mann und Schicht.

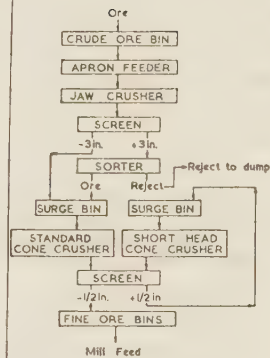
5. Den mechanischen Aufbereitungsgang zeigt das nebenstehende Fließbild.

Der radiometrische Sortierer (sorter) besteht aus vier Einheiten, von denen jede zwischen 35 und 40 t.p.h. leistet. Der Sortierer entfernt ca. 90% der Berge und weist damit etwa 22.000 t Gestein pro Arbeitsmonat zurück. Der Reinheitsgrad des Erzes wird um 30% verbessert.

Das anschließend auf -1/2 inch zerkleinerte Material gelangt in die chemische Aufbereitungsanlage, wo der Urangehalt extrahiert wird⁺. Die S.E.-haltigen Abgänge werden aufgehaldet. Die Gewinnung der Seltenen Erden ist geplant und harrt günstiger Marktverhältnisse.

Dabei will man die Abgänge bei 200°C mit konzentrierter Schwefelsäure sulfatisieren, die entstandenen Eisen- und Aluminiumsulfate mittels Wirbelschicht-röstung bei 650°C zerstören und im Anschluß daran Eu durch Flüssig-flüssig-Extraktion abtrennen. Nach Fällung mit Ammoniak erhält man das Eu-Konzentrat neben einem Konzentrat der Ceriterden.

6. Mary Kathleen begann 1958 zu produzieren. Die Basis bot ein Kontrakt mit der United Kingdom Atomic Energy Authority, die sich erbot für £ 40 Mio. Uran-konzentrate abzunehmen. Der Vertrag wurde im Nov. 1963 erfüllt ohne verlängert zu werden, so daß man die Produktion vorübergehend einstellte. Bis dahin sind 2,9 Mio.t Erz aufbereitet worden, denen man 9 Mio.lb U_3O_8 entzog.



Wie bereits erwähnt, beschränkt sich die Vererzung auf meist kleine, unregelmäßig gestaltete Körper. Der sie umschließende Granatskarn ist taub. Um die Verdünnung der Erze einzuschränken, wird ein selektiver Abbau durchgeführt, der durch die folgenden Arbeitsgänge gewährleistet ist:

--geologische Aufnahme der Abbauwände

nach jeder Schußserie werden die Wände abgewaschen und ihre mineralogische Zusammensetzung visuell und mit Geigerzählern geprüft. Störungen werden eingemessen. Alle Ergebnisse werden kartiert. Diese Arbeit wird täglich durchgeführt.

--Probenahme

an geeigneten Stellen werden 2 m hinter der Abbaufront und in Abständen von 2,5 m Probebohrungen bis zu 20 m Teufe niedergebracht. Sie werden ebenso regelmäßig auf ihren Erzgehalt untersucht wie die eingebrachten Sprenglöcher.

--Selektives Sprengen

Die Ergebnisse der Probenahme führen zu unterschiedlichen Anordnungen für die Durchführung der Sprengungen. Im Gegensatz zum tauben Gestein werden für die Erzzenen oft sehr komplizierte Sprengverfahren erforderlich. Die durchschnittliche Leistung der Sprengungen beläuft sich auf:

	Abraum	Erz
t pro gebohrte 30 cm	20	5
t pro 1b Sprengstoff	4	4

--Kontrollen

Das als Abraum geschossene Material wird vor dem Verladen nochmals mit Geigerzählern überprüft. Erzbrocken werden mit einem roten Kreuz gekennzeichnet und von den Baggern aussortiert. In gleicher Weise wird das Erz kontrolliert; Bergebrocken werden mit einem weißen Kreuz markiert und entfernt. In einer normalen Schicht können zwei Mann 100 t Gestein sortieren. Das Gestein wird anschließend auf Lkws geladen, die einen "discriminator" passieren müssen, der die Ladungen ein letztes Mal mit sechs Geigerzählern genau überprüft und als Abraum oder Erz klassifiziert. Das Erz gelangt anschließend in die Aufbereitung.

Im Jahre 1962 erreichte die Grube ihre größte Effektivität mit 78,5 t Erz pro Mann und Schicht.

5. Den mechanischen Aufbereitungsgang zeigt das nebenstehende Fließbild.

Der radiometrische Sortierer (sorter) besteht aus vier Einheiten, von denen jede zwischen 35 und 40 t.p.h. leistet. Der Sortierer entfernt ca. 90% der Berge und weist damit etwa 22.000 t Gestein pro Arbeitsmonat zurück. Der Reinheitsgrad des Erzes wird um 30% verbessert. Das anschließend auf -1/2

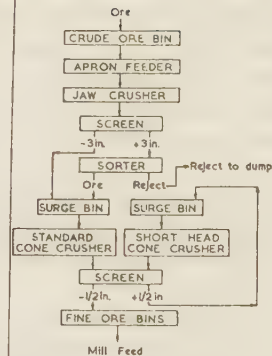


Abb. 21: Fließbild der mechanischen Aufbereitungsstufe.

inch zerkleinerte Material gelangt in die chemische Aufbereitungsanlage, wo der Urangehalt extrahiert wird⁺. Die S.E.-haltigen Abgänge werden aufgehaldet. Die Gewinnung der Seltenen Erden ist geplant und harrt günstiger Marktverhältnisse.

Dabei will man die Abgänge bei 200°C mit konzentrierter Schwefelsäure sulfatisieren, die entstandenen Eisen- und Aluminiumsulfate mittels Wirbelschicht-röstung bei 650°C zerstören und im Anschluß daran Eu durch Flüssig-flüssig-Extraktion abtrennen. Nach Fällung mit Ammoniak erhält man das Eu-Konzentrat neben einem Konzentrat der Ceriterden.

6. Mary Kathleen begann 1958 zu produzieren. Die Basis bot ein Kontrakt mit der United Kingdom Atomic Energy Authority, die sich erbot für £ 40 Mio. Uran-konzentrate abzunehmen. Der Vertrag wurde im Nov. 1963 erfüllt ohne verlängert zu werden, so daß man die Produktion vorübergehend einstellte. Bis dahin sind 2,9 Mio.t Erz aufbereitet worden, denen man 9 Mio.lb U_3O_8 entzog.

⁺Eine Beschreibung liegt vor: WOODCOCK (131).

Neue Verträge, z.B. auf Lieferung von 2.700 sht U_3O_8 von 1974-79, ermöglichten die Wiederinbetriebnahme zum Anfang der 70-er Jahre.

7. Abbau und Aufbereitung wird von der Mary Kathleen Uranium Ltd. durchgeführt, deren wichtigster Teilnehmer die Rio Tinto Mining Co. of Australia ist.

II,2,5 Lagerstätten in Sedimenten

Die meisten S.E.-haltigen Schwerminerale sind unter exogenen Bedingungen chemisch relativ stabil. Sie eignen sich mithin für die residuale Anreicherung. E l u v i a l - c a l l u v i a l e Seifen mit S.E. sind daher über Graniten, Pegmatitgebieten und Alkaligesteinsmassiven besonders in den Tropen ziemlich verbreitet.

Nur wenige Erzminerale der Seltenen Erden widerstehen den mechanischen Beanspruchungen des fluviatilen Transports hinreichend, um sich in a l l u v i a l e n Seifen konzentrieren zu können. Wohl zu den wichtigsten einschlägigen Mineralen der Flußseifen zählen Monazit, Xenotim, Euxenit und Thorit. Als Liefergebiete kommen granitreiche und/oder hochmetamorphe Areale in Frage.

In den m a r i n e n Seifenlagerstätten sind als S.E.-Minerale nur noch Monazit und - seltener - Xenotim von Bedeutung. Die Anreicherung der Schwerminerale erfolgt hier auf dem Naßstrand durch Schwall und Sog bei stärkerer Wellenaktivität)¹ (Strandseifen), oder - hinter der Strandlinie - durch die Arbeit des Windes (Dünenseifen). Auch Strömungen und Gezeitentransport tragen zur Konzentrierung bei)². Lagerstätten mit über 90% Schwerminerale und bis zu 5% Monazit kommen vor. Marine Seifenlagerstätten großen Ausmaßes finden sich vornehmlich im Bereich der Alten Schilde.

¹ vgl. dazu: v. ENGELHARDT (71) und CORDES (66).

² DAVIDSON (260)

Auch auf fossilen, durch eustatische Meeresspiegel-schwankungen oder tektonisch bedingte Küstenverlagerungen erhalten gebliebene Seifen - im Off-shore-Bereich (Indonesien, Malaysia) oder in Strandterrassen im Küstenhinterland (Brasilien) - geht Bergbau um.

Fossile Seifen in Sandsteinen sind trotz vergleichbarer Schwermineralgehalte wegen der abbau- und aufbereitungstechnischen Erschwernisse, die aus der Verfestigung des Materials erwachsen, und wegen des Abraumproblems z.Z. nicht mit den Seifen in Lockergesteinen konkurrenzfähig.

Monazitanreicherungen sind auch aus Dolomiten bekannt.

Die S.E.-Gewinnung aus manganreichen Sedimenten (in der Tiefsee mit über 2500 ppm S.E.)¹⁾ und Phosphorit (bis 1000 ppm S.E.) kann für die Zukunft ins Auge gefaßt werden.

Die Lagerstätten:

ÄGYPTEN - NIL DELTA

1. Schwermineralseifen säumen fast die gesamte 250 km lange Küste des Nil Deltas. Umgrenzbare Areale wirtschaftlich interessanter Konzentrationen wurden mit den Namen in der Nähe gelegener Ortschaften belegt, wie die reichen Vorkommen von Rosetta und Damietta.
2. HIGAZY & NAGUIB (80) unterscheiden zwei Typen, das reiche (concentrated) Erz mit 70-90% Schwermineralinhalt und fast schwarzer Färbung sowie das gelblich-graue arme (diluted) Erz mit 5-40% Schwermineralen. Das reiche Erz tritt bevorzugt an den Mündungen beider Nilarme auf, oft über mehr als 10 km Länge bei einer Breite von wenigen Metern und Mächtigkeiten,

¹⁾ in Manganknollen; EHRLICH, A.M. (70).

die um 10 cm schwanken.

3. Es ist durchschnittlich etwa wie folgt zusammenge-

setzt:	55%	Ilmenit
	15%-20%	Magnetit
	7-8%	Zirkon
	4-6%	Granat
	1,5%	Rutil
	0,5-1%	Monazit
Rest:		Quarz, Pyroxen, Hornblende

Der Monazit enthält 60-62% S.E.-Oxide, ca. 5,4% ThO_2
und 0,03% U_3O_8 .

Die vorläufigen Schätzungen für die Vorräte des
Küstenstreifens zwischen Damietta und Port Said
belaufen sich auf 80 Mio.t "black sands" mit
1,5 Mio.t Monazit.

5. Die Konzentrate werden mit Hilfe von Siebvorgängen,
Schwereretrennung sowie elektrostatischen und elektro-
magnetischen Scheidern hergestellt. Monazit wird mit
einem Reinheitsgrad von ca. 90% separiert.

6,7. Nach kleinmaßstäblichen Anfängen wurde 1958 mit
dem 2. Fünfjahresplan unter sowjetischer Leitung
eine verstärkte Nutzung der reichen Lagerstätten
in Angriff genommen.

Egyptian Black Sands Products Co. begann jährlich
etwa 30.000 t Erz mit 0,5% Monazit durchzusetzen.
General Ilmenite Co. installierte 1960 neue Anla-
gen und begann 1961 mit der erhöhten Produktion.
Soweit erhältlich, sind die Zahlen zur Monazit-
konzentratproduktion Ägyptens aus dem Nil Delta
in untenstehender Aufstellung nach Angaben des
U.S.Bureau of Mines zusammengestellt:

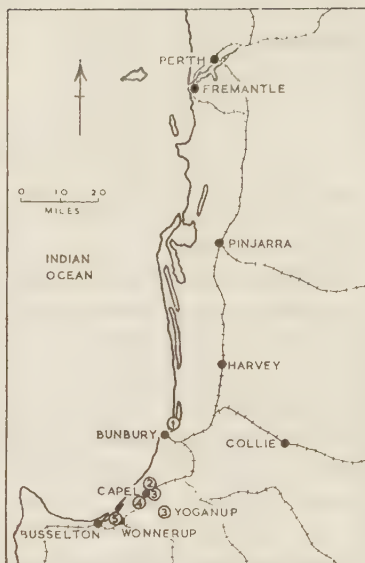
1949	3 t	1955	1 t
1950	72 t	1956	6 t
1951	1 t	1957-58	nicht erhältlich
1952	6 t	1959	150 t (geschätzt)
1953	6 t	ab 1960	nicht erhältlich
1954	8 t		

AUSTRALIEN - GEOGRAPHE BAY

1. Die Karte zeigt die Lage der Aufbereitungsstationen der wichtigsten Schwermineralproduzenten Westaustraliens aus WOODCOCK (131).

- 1 Cable (1956) Ltd.
- 2 Western Mineral Sands Pty. Ltd.
- 3 Westralian Oil Ltd.
- 4 Western Titanium N.L.
- 5 Ilmenite Minerals Pty. Ltd.

Abb.22



2. In Westaustralien liegen die wichtigsten Lagerstätten in alten Küstendünen, die sich zwischen Harvey und Busselton erstrecken. Bei Bunbury werden die Strandsande einer Flußmündung abgebaut.
3. Ilmenit ist das führende Erzmineral, aber auch Zirkon, Rutil, Monazit und Leukoxen treten in gewinnbarer Konzentration auf. Xenotim ist selten. Der Schwermineralgehalt der Dünen bei Capel nimmt von oben (um 5%) zur Tiefe hin zu (bis 90%). Bis zu 15 m Tiefe hat man Anreicherungen festgestellt. Die Dünenzüge bei Yoganup verfügen über schwermineralreiche Säume in Teufen von 3-10 m unter Oberfläche, wobei Konzentrationen von über 80% auftreten. Ilmenit beansprucht 70-90% des Schwermineralgehalts. Der Rest verteilt sich u.a. auf Zirkon, zwischen 4 und 15%, auf Rutil, zwischen 0,4 und 1%, und auf

der bei Nord-Capel zu 0,2% partizipiert und dessen Anteil gegen Yoganup bis auf 1% ansteigt.

Die nachgewiesenen Monazitreserven im Raum der Geographie Bay belaufen sich auf etwa 100.000 t.

4. Drei Abbauverfahren sind üblich:

- 1- In den meisten Fällen werden die Sande einfach abgebaggert und über Förderbandsysteme oder mit Kippladern zur Vorkonzentrierung transportiert.
- 2- Western Titanium baut ein Vorkommen ab, wo der Quarzsand und die Schwerminerale durch eine limonitische Matrix konkretionsartig zusammengebacken sind. Die Konkretionen werden freigespült, mit Bulldozern gehäuft und von dort zur Aufbereitung gebracht.
- 3- Cable verwendet die in Ost-Australien üblichen Schwimmbagger mit gekoppelter Konzentrationsanlage. Die Anlage hat einen Durchsatz von 200 t.p.h. Sand mit 15-20% Schwermineralen.

Ein negativer Kosteneinflußfaktor ist der in den östlichen Vorkommen bei Yoganup auftretende Überzug aus massiven, 1-2,4 m mächtigen Lateritkrusten, die sich nur durch Sprengungen beseitigen lassen.

Auch enthalten die Lagerstätten von Capel und Yoganup bis zu 20% Tonfraktion. Ein Teil davon kann durch Aufschlämmen entfernt werden, der Rest kohäriert leicht zu Bällchen, die ausgesiebt und ungeachtet ihres Schwermineralinhalts verworfen werden müssen.

5. Von den ersten Arbeitsgängen ist die naßmechanische Aufbereitung mit Wendelrinnen, Setzmaschinen und Schüttelherde die wichtigste, da sie zu einer beträchtlichen Anreicherung des Schwermineralgehalts führt. Diese Vorkonzentrate transportiert man anschließend zu den oft mehrere km entfernten Separationswerken, wo sie in ölbeheizten (in einem Fall auch holzbeschickten) Drehöfen getrocknet werden. Durch kombinierte Anwendung elektromagnetischer und elektrostatischer Trennverfahren erzielt man dann die verkaufsfähigen Konzentrate.

6. Westaustralien bestritt während der letzten Jahre über 2/3 der Monazitproduktion von ganz Australien, die auf S.80 zusammengestellt ist.
Für 1966 wird die Produktion auf ~1500 t und für 1967 auf 2250 t beziffert (Minerals Yearbook 1967,1).
- Western Titanium N.L. brachte als erste 1969 geringe Mengen marktfähiger Xenotimkonzentrate heraus.
7. Die wichtigsten Firmen sind bereits unter 1. genannt.

AUSTRALIEN - OSTKÜSTE

1. Die Lage der Abbaugebiete kann aus Abb.23 (nächste Seite) entnommen werden.
2. Ziemlich rezente Lagerstätten finden sich entlang der Küstenlinie, fossile Seifen treten weiter im Landesinnern auf, oft einige km von der Küste entfernt. Aus diesen beiden Typen wird das Gros der Produktion bestritten.
Darüber hinaus gibt es Schwermineralsande in Dünen, die geringere Gehalte, aber größere Vorräte besitzen. Durch anhaltende selektive Windausblasung haben sich lokal Reicherzlagen auf der Dünenoberfläche gebildet. Erst in jüngster Zeit hat man vereinzelt damit begonnen diese Zonen bergbaulich in Angriff zu nehmen.
3. Rutil beansprucht gewöhnlich um 40% (von 23 bis 50%) vom Schwermineralinhalt der Küstenseifen. Der Zirkonanteil schwankt zwischen 22 und 53% und Ilmenit partizipiert mit 13 bis 29%. Monazit hat nur zu 0,3-1% an den Schwermineralen teil. Seine ThO_2 -Führung liegt zwischen 6 und 7%.
4. Vor Abbaubeginn werden Boden und Bewuchs mit Bulldozern beseitigt. Der Boden wird nicht verworfen, weil die operierenden Unternehmen durch das Berggesetz verpflichtet sind, nach Verlassen der Lagerstätte ihren ursprünglichen Zustand wiederherzustellen, wobei nicht nur der Boden aufgetragen, sondern

auch seine Bepflanzung durchgeführt werden muß.
Da die Seifen meist in Meeresspiegelhöhe zu finden sind, hat sich als Abbautechnik das Absaugen der Sande aus künstlich angelegten Teichen mit Schwimmbaggern durchgesetzt. Diese Saugbagger und die mit ihnen auf Pontons verbundenen Aufbereitungsanlagen ("wet plants") bewerkstelligen Abbau und Vorkonzentrierung. Die Lage der Betriebe ist aus den Karten

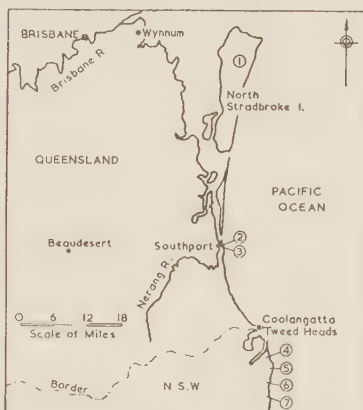


Abb.23: Lage der Abbau- und Aufbereitungsbetriebe ("wet plants") der wichtigsten Firmen.

- 1 Titanium & Zirconium Industries Pty.Ltd.
- 2 Associated Minerals Consolidated Ltd.
- 3 Mineral Deposits Pty.Ltd.
- 4 Cudgen R.Z.
- 5 N.S.W. Rutile Mining Co.Pty.Ltd.
- 6 Titanium Alloy Manufacturing Co.Pty.Ltd.
- 7 u.8 wie 2
- 9 wie 6
- 10 wie 3
- 11 wie 2

(Fortsetzung nächste Seite)

- 12 Rutile & Zircon Mines (Newcastle) Ltd.
- 13 do.
- 14 Wyong Minerals Ltd.
- 15 Northern Rivers Rutile Pty.Ltd.

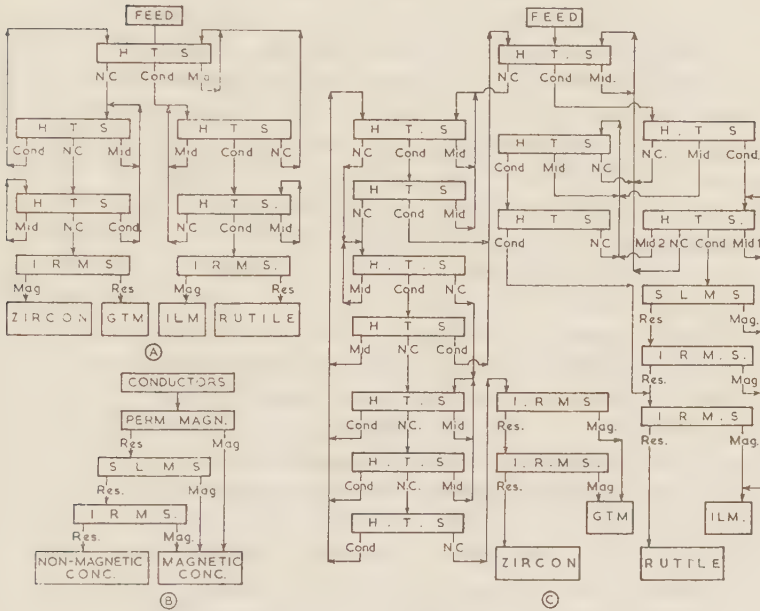
Der Erhalt ziemlich homogenen Förderguts ist ein wesentlicher Vorteil des Saugverfahrens.

- 5. Die Ausrüstung der schwimmenden Konzentrationsanlagen beschränkt sich auf Batterien von Wendelrinnen und Rinnenwäschen
Das vorkonzentrierte Material wird mit Lkws zu den fixen Separationsbetrieben gefahren ("dry plants"). Dort werden die Erze durch Dichtesortierverfahren noch weiter konzentriert, anschließend getrocknet und mit elektrostatischen und elektromagnetischen Methoden getrennt, deren Kombination von Werk zu Werk verschieden gehandhabt wird. Einige Separationsabläufe zeigt die umseitige Abb.24.
- 6. Für Ostaustralien steht keine Produktionsstatistik zur Verfügung. Die nachfolgend zusammengestellten Zahlen richten sich nach Angaben des U.S.Bureau of Mines und gelten für ganz Australien. Bis zu Beginn der 60-er Jahre überwog der Anteil Ostaustraliens, der dann in den Folgejahren bis auf knapp ein Drittel zusammenschmolz.

Tab.9: Die Monazitkonzentratproduktion Australiens.

1950	1213 t	1961	1572 t
51	1691 t	62	827 t
52	117 t	63	2095 t
53	257 t	64	2013 t
54	180 t	65	2332 t
55	196 t	66	2006 t
56	243 t	67	2951 t
57	450 t	68	3257 t
58	461 t	69	3989 t
59	364 t	70	4564 t
60	367 t	71	3990 t

Abb.24: Fließbilder von "dry plants".
(aus WOODCOCK (131))



Dry plant flow-sheets.

- A. Typical general flow-sheet with electrostatic separation followed by magnetic separation.
B. Magnetic separation circuit with bleeding-off of strongly magnetic fraction.
C. N.S.W. Rutile.

7. Mit Ausnahme der Consolidated Rutile Ltd., die auf North Stradbroke Island operiert, sind die wichtigsten Firmen unter 4. genannt.

BRASILIEN

1. Monazitseifen finden sich an vielen Stellen eines über 1500 km langen Küstenstreifens, der vom Staat Rio de Janeiro über Espirito Santo bis nach Bahia reicht. Die größten von mindestens zwanzig abbauwürdigen Vorkommen sind Barra do Itabapoana in Rio de Janeiro an der Grenze zu Espirito Santo, Cumuruxatiba (Comoxatiba) und Guaratiba in Bahia und Guarapary in Espirito Santo. Fluviale Seifen gibt es bei Floriania und Sao Rafael in Rio Grande del Norte.
2. Die Küstenlagerstätten entstanden und erstehen aus kretazischen und alttertiären Sedimenten, die durch die Arbeit der Brandung aufbereitet werden. In jüngerer Zeit hat die Küstenebene mehrere Hebungen erfahren, so daß die besten Lagerstätten sich hinter der heutigen Küstenlinie in fossilen Stränden befinden.
3. Die Schwermineralführung der Seifen ist vielfältig. Neben Ilmenit, Rutil, Monazit und Zirkon treten Granat, Sillimanit, Disthen, Spinelle, Korund, Turmalin, Staurolith, Hämatit u.a. auf. Die bauwürdigen Seifen sind zwischen 2 und 5 m mächtig, 3 bis 20 m breit und von 20 m bis über 3 km lang. Barra do Itabapoana und Cumuruxatiba enthalten etwa 25% Schwerminerale. 7% der Schwerminerale sind Monazit, der zu 5-6% ThO_2 führt. Die Küsten von Rio de Janeiro verfügen mit den Vorkommen von Espirito Santo und Bahia zusammen über mindestens 150.000 t gewinnbaren Monazits. Die Flußsande im Bereich des Rio Açu bei Floriania und Sao Rafael führen etwa 75.000 t Monazit. Extensive Lagerstätten in Dünenstränden sind aus den

Staaten Rio Grande do Norte und Paraiba bekannt.

Die Monazitvorräte ganz Brasiliens schätzt man auf über 600.000 t. BOWIE (63) rechnet sogar mit einigen Mio. t.

5. Der gebaggerte Sand wird zunächst in einer Batterie von Humphrey's Wendelrinnen von Quarz und den leichten Silikaten befreit. Das so vorgereinigte Material wird in Drehöfen getrocknet und elektrostatisch in eine leitende (Ilmenit, Rutil u.a.) und eine nicht-leitende Fraktion (Monazit, Zirkon) aufgeteilt. Der Monazit wird dann auf elektromagnetischem Wege vom Zirkon separiert. Es resultiert ein etwa 92-iges Monazitkonzentrat mit einem Ausbringen von 70-80 %.

Das Konzentrat wird zur Aufbereitungsanlage in Sao Paulo verfrachtet, wo man es zunächst wäscht, trocknet und klassiert. Anschließend werden die verbliebenen Silikate (0,5%) entfernt. Eine sorgfältig kontrollierte Kombination aus elektrostatischen und elektromagnetischen Trennungsgängen führt zur Reinigung vom Ilmenit (3-4%) und vom größten Teil des Zirkons (4-5%).

Das entstandene Konzentrat enthält über 99% Monazit. In dieser Form wird er betriebsintern weiterverarbeitet (vgl.S.148).

- 6,7. Seit 1964 kontrolliert das Commissao Nacional de Energia Nuclear (CNEN) den Abbau und die Aufbereitung des Monazits. Unter der Leitung der CNEN produzierten Barra do Itabapoana 1964 408 t und 1965 244 t Monazitkonzentrat und Cumuruxatiba 1964 259 t und 1965 353 t.

CNEN überwacht ebenfalls die Monazitabteilung des chemischen Aufbereitungswerkes bei Sao Paulo, das von der Industrias Quimicas Reunidas Orquima betrieben wird. Der Betrieb setzte 1964 1975 t Monazitkonzentrat durch.

Monazitkonzentrat darf grundsätzlich nicht exportiert werden.

Tab.10 informiert über Brasiliens Gesamtproduktion an Monazitkonzentraten (in t nach Zahlen des U.S.Bureau of Mines).

1958	1054	1964	665
59	1108	65	597
60	1046	66	746
61	1146	67	1079
62	3879	68	1691
63	2220	69	1999
		70	2307
		71	2360 (geschätzt)

INDIEN - BIHAR und WESTBENGAL

1. Ausgedehnte Seifenlagerstätten sind im Ranchi und Purulia Distrikt sowie randlich in den angrenzenden Distrikten Bankura, Bourdwan und Haza Ribagh der Staaten Bihar und Westbengal festgestellt worden.

2. Die Seifen bedecken Peneplains, die stufenweise gegen das Ranchi Plateau im W und ein Hochland im NW ansteigen. Sie finden sich ebenfalls im Damoda Tal, das die Ebenen durchquert.

Das Anstehende der Peneplains setzt sich aus präkambrischen Gneisen und Schiefern, überwiegend jedoch aus Paragraniten zusammen. Der Komplex ist von Pegmatiten injiziert. Die Oberfläche der Gesteine wird von grobkörnigem, gelben Holozän bedeckt, dessen Mächtigkeit variiert und durchschnittlich 1,20 m erreicht. Dieses "Ältere Alluvium" befindet sich im Stadium junger Bodenbildung. Das Holozän der rezenten Flußläufe führt einen höheren Tongehalt auf Kosten der Schwerminerale und besitzt mit einigen Ausnahmen nicht die wirtschaftliche Bedeutung des "Älteren Alluviums".

3. SHIRKE & CHATTERJI (112) unterteilen die Sande nach ihrer Radioaktivität in zwei Klassen. Dabei führen

die hochradioaktiven Seifen zu 4-10% Schwerminerale, die weniger radioaktiven zu 2-4%. Der Anteil der Schwerminerale in Proben aus beiden Klassen verteilt sich wie folgt:

	<u>reiche Sande</u>	(in %)	<u>arme Sande</u>
Monazit	1,0		0,45
Columbit-Tantalit	0,2		0,11
Ilmenit	1,1		0,46
Zirkon	0,4		0,04
Rutil	0,2		0,17
Sillimanit	1,0		0,80
Apatit	0,1		0,06
Magnetit	<u>0,3</u>		<u>0,09</u>
total	4,3		2,18

Prospektionen in einem ca. 340 km² großen Gebiet bei Katahaldih zeitigten 13.436 t/km² reiches Erz und 6,046 t/km² armes Erz. Danach verfügte allein dieses Gebiet über mindestens 50.000 t Monazit.

Die Th-Reserven des Plateaus von Bihar sollen sich auf 300.000 t belaufen. Demnach dürften über 3 Mio.t Monazit vorhanden sein.

4. Abbau geht nicht um.
8. SHIRKE & CHATTERJI (112).

INDIEN - CHAVARA und MANAVALAKURICHI

1. Der Strand von Manavalakurichi erstreckt sich über 1,6 km Länge nahe Kovilam im Staate Madras. Nördlich Quilon, im Staate Kerala befindet sich der etwa 22 km lange Küstenstreifen von Chavara, der bis zu 800 m breit ist.
2. Die Schwerminerale der Sande von Manavalakurichi entstammen den präkambrischen Gesteinen des Hinterlandes. Dort werden sie in den Böden angereichert, und gelangen dann über das Entwässerungsnetz an die Küste. Den Ursprung der Seifen von Chavara führt man auf die schwermineralreichen tertiären Varkalai Schichten zurück, deren Abtragungsprodukte ebenfalls

fluviatil zur Küste transportiert werden, wo sie sich wegen der erhöhten Wellenaktivität besonders effektiv während der Monsunperioden nach Schwere und Kornform sortieren. Es entstehen die bauwürdigen "black sands", deren Schwermineralgehalt über 90% betragen kann.

5. Tab.11 ist aus mehreren Analysen kombiniert worden, und vermittelt so einen umfassenderen Einblick in die Mineralzusammensetzung beider Strände:

Tab.11:	Manavalakurichi	Chavara
Ilmenit	58,5-63,5%	75 - 85 %
Rutil	1 - 4 %	3 - 8 %
Zirkon	5,7- 7 %	5 - 7,5%
<u>Monazit</u>	5 %	0,5- 2 %
Granat	5,9- 6,4%	0,5%
Sillimanit	3,8- 4 %	4 - 6,5%
Quarz	13,9-16 %	3 - 6 %
Schalenfragmente	1,4- 1,7%	0,1%

Eine Kombination der verschiedensten Monazitanalysen ergab die folgenden Durchschnittswerte:

ThO ₂	8,7 % (zwischen 0,5 und 12% schwankend)
U ₃ O ₈	0,36%
S.E.-Oxide	60,1 % aufgeschlüsselt: 29,8% Ce ₂ O ₃
	15,7% La ₂ O ₃
	2,9% Pr ₂ O ₃
	10,5% Nd ₂ O ₃
	0,4% Y ₂ O ₃
	0,8% Restliche

Die Monazitvorräte des Küstenstreifens zwischen Quilon und Kap Komorin werden auf ca. 5 Mio.t geschätzt.

4. Der Abbau ist bislang manuell in den schmalen Spülsäumen und flachen Dünenzügen durchgeführt worden. Jedoch nähern sich die Vorräte dieser Vorkommen der Erschöpfung, so daß man daran ging, die Seifen der Küstenplattform maschinell auszubeuten, zumal sie lateral gut aushalten und bis zu 7 m Teufe bauwür-

dig erscheinen. Jedoch ist das dort gebaggerte Material etwas tonhaltig (um 2%), ein Kosteneinflussfaktor, den die Strandsäume und Dünenzüge nicht boten.

Der von der Regierung bevorzugte Modus, die Betriebe nach ihren Ausstoßleistungen zu unterstützen, hat nach VISWANATHAN (125) zu Raubbaupraktiken geführt, so daß die Vorkommen rascher als nötig ihren wirtschaftlichen Wert einbüßen. Eine systematische Ausbeutung der Lagerstätten wird ohnehin durch die vielen Fischerdörfer an der Küste behindert. Der Küstenstreifen von Travancore gehört zu den dichtest besiedelten Gebieten der Erde.

5. Um die Reserven an radioaktiven Mineralen dem Lande zu erhalten, hat das nationale Department of Atomic Energy den Firmen zur Auflage gemacht, daß Ilmenitkonzentrate nur verkauft werden dürfen, wenn sie weniger als 0,12% Monazit enthalten. Für die Trennung des Ilmenits vom Monazit, die noch dadurch erschwert ist, daß sich die magnetischen Suszeptibilitäten der beiden Minerale überlappen, wird daher große Sorgfalt aufgewandt.

Man löst das Problem, indem zunächst ein großer Teil des Ilmenits mit Schwachfeldscheidern abgetrennt wird. Das zurückbleibende Material wird naßmechanisch nach der Schwerkraft sortiert, wobei sich praktisch aller Monazit in der schwersten Fraktion sammelt, begleitet vom Ilmenit der feinsten Kornklassen. Mit Hilfe elektrostatischer Trennverfahren wird schließlich der nichtleitende Monazit vom Rest des leitfähigen Ilmenits separiert. Auf diese Weise erzielt man ein etwa 98%-iges Monazitkonzentrat. Die Naßsortierung muß zwischengeschaltet werden, um die während der heißen Jahreszeit sich bildende Salzkrustung der Minerale abzuwaschen, die eine Trennung nach der Leitfähigkeit sonst unterbindet.

Neben Ilmenit und Monazit werden Rutil-, Zirkon-, Sillimanit- und Granatkonzentrate gewonnen. Für das Aufbereitungsverfahren, dem ja auch Schwierigkeiten aus der Vielfalt der auftretenden Minerale erwachsen, sind während der letzten Jahre wiederholt Verbesserungsvorschläge veröffentlicht worden. In diesem Zusammenhang sei auf die Arbeiten von KARVE et al. (84) und VISWANATHAN et al. (127) verwiesen.

6. Über Indiens Gesamtproduktion an Monazitkonzentraten sind nur wenige Zahlen bekannt, die in Tab.12 wiedergegeben sind.

1964	2093	1968	3437	Tab.12: Indiens Produktion an Monazitkonzentrat (nach (299)) - in t - +Schätzwert
1965	2540 ⁺	1969	2456	
1966	2630 ⁺	1970	3632	
1967	2600 ⁺	1971	3990 ⁺	

Das seit 1947 bestehende Exportverbot für Monazitkonzentrate wird bei Überlastung der landeseigenen Hütten gelegentlich umgangen. So exportierte man 1964 483 t für \$ 144.900.

7. Vier Unternehmen partizipieren an der Ausbeutung der black sands, zwei kleinere:

- Hopkins & Williams (Travancore) Ltd., eine private Gesellschaft;
- F.X. Pereira & Sons (Travancore) Ltd, die von der Regierung Keralas geleitet wird;

und die beiden großen:

- Travancore Minerals Private Ltd., an der Indiens Zentralregierung mit 55% beteiligt ist. Der Rest verteilt sich auf die Regierungen der Staaten Madras und Kerala. Das Unternehmen betreibt eine Konzentrationsanlage bei Manavalakurichi, die im Finanzjahr 1962/63 2651 t und 1963/64 2306 t Monazitkonzentrat herstellte.
- die staatliche Indian Rare Earths Ltd., die ein Werk bei Chavara unterhält, das ca. 650 t.p.d. Rohmaterial durchsetzen kann und dabei jährlich neben 100.000 t Ilmenit, 7000 t Zirkon, 5850 t Rutil und 4100 t Sillimanit bis zu 600 t Monazitkonzentrat ausstoßen kann. Die Produktionskapazitäten ihres

zweiten Werkes bei Manavalakurichi liegen bei 40.500 t Ilmenit, 3600 t Zirkon, 720 t Rutil, 1500 t Granat und bis zu 3000 t Monazitkonzentrat.

Abnehmer der Monazitkonzentrate sind ein vom nationalen Department of Atomic Energy geführtes chemisches Aufbereitungswerk bei Trombay, das Reaktorbrennstoffe produziert, und die Hütte Alwaye, die von der Indian Rare Earths Ltd. betrieben wird und bis zu 4000 t Monazit jährlich verarbeiten kann.

INDONESIEN - ZINNINSELN

1. Die Zinninseln - Singkep, Bangka und Billiton - befinden sich östlich von Sumatra zwischen dem Südchinesischen Meer und der Java-See.

2. Drei Typen von Zinnseifen kommen vor:

- Blockschuttseifen in unmittelbarer Nähe der Primärvorkommen,
- fluviatile Seifen
- und Strandseifen.

Die Entstehungszeit der Seifen fällt ins Pleistozän. Die nach der Eiszeit erfolgte Meeresspiegelanhebung hat die Flußmündungen und damit manche Seifen ertrinken lassen. Die Strandseifen werden als Umlagerungen der ertrunkenen fluviatilen Vorkommen gedeutet. Die primären Zinnsteinanreicherungen in den Granitmassiven der Inseln sind nur selten bauwürdig. Sie sind praktisch frei von S.E.-Mineralen wie auch die eluvialen Blockschuttseifen.

3. Nur die Fluß- und Strandseifen führen S.E.-Minerale. Dort treten Xenotim und Monazit neben u.a. Zinnstein, Zirkon, Ilmenit, Columbit und Rutil auf.

Über die Gehalte ausgewählter Erzminerale in 37 Seifen Bangkas gibt die folgende Aufstellung Auskunft, nach CISSARZ & BAUM (64):

	MINIMUM	(in g/t)	MAXIMUM
Zinnstein	13		80.300
Xenotim + Monazit	1		1.888
Zirkon	2		838
Ilmenit	Spur		3.155
Columbit	-		184

Xenotim ist generell häufiger als Monazit.

Aus Konzentraten von Panghal-Balam (Bangka) ist der Xenotim analysiert worden. Er enthält über 60% S.E.-Oxide, die sich wie folgt verteilen sollen (nach(64)):

Y_2O_3	41,6 %
Dy_2O_3	7,9 %
Gd_2O_3	4,0 %
Er_2O_3	4,0 %
Yb_2O_3	4,0 %
restliche S.E.-Oxide	2,0 %
total	63,5 %

ThO_2 ist zu 0,6% und U_2O_3 zu 0,064% vertreten.

Der Monazit Singkeps enthält nur ca. 3,3% ThO_2 .

- 4,5. Die Kosten für den Abbau der Seifen (der z.T. mit modernen Schwimmbaggern im off-shore-Bereich durchgeführt wird) und für die Vorkonzentrierung werden vom Zinnsteinbergbau getragen. Zusatzkosten verursacht lediglich die Abtrennung des Monazits in den zentralen Aufbereitungsanlagen der Inseln. Das Konzentrat wird mit Hilfe elektrostatischer und elektromagnetischer Verfahren erzeugt.

Xenotim ist erst versuchsweise konzentriert worden.

Seine kommerzielle Gewinnung ist geplant.

6. Indonesiens Produktion an Monazitkonzentraten entwickelte sich wie folgt (nach(299)):

1953	285 t	1961	101 t
1954	10 t	1962	139 t
1955	111 t	1963	153 t
:		1964	140 t
		1965	27 t

Die Zahlen von 1956-60 und ab 1966 sind nicht verfügbar.

7. Die staatliche Gesellschaft B.P.U.TIMAH führt den Zinnbergbau durch.

MADAGASKAR - SÜDOSTKÜSTE

2. Die Küstensande bilden einen Gürtel von 300-1500 m Breite. Nahe Fort Dauphin reichen sie sogar bis zu mehreren km weit ins Inland. Davon nimmt der rezente Strandsaum etwa 10-50 m ein. Der Rest verteilt sich auf fossile, wenige Meter über NN gehobene Strände, die landeinwärts in rezente, bis 6 m hohe Wanderdünen und schließlich in ältere, fixierte Dünen übergehen, die bis zu 60 m hoch sind.

Reiche Seifen finden sich in den rezenten und lokal auch in den fossilen Stränden; größere Reserven dagegen hat die Zone der fossilen Dünen.

3. Der Erzmineralinhalt der Sande beschränkt sich im wesentlichen auf Ilmenit, Zirkon und Monazit.

Die Vorkommen in den fossilen Dünen besitzen um 30-40% Schwerminerale, darunter 1,2-1,5% Monazit. Sie repräsentieren 80% der Gesamtreserven. Bei Antete sind ca. 3,6 Mio.t Sande in fossilen Dünen mit durchschnittlich 50% Schwerminerale, wovon 2-2,25% auf Monazit entfallen. Analysen des Monazits ergaben 57,4-59,9% S.E.-Oxide und 6,8-9% ThO₂.

Die Gesamtvorräte der Südostküste werden auf über 100.000 t Monazit geschätzt.

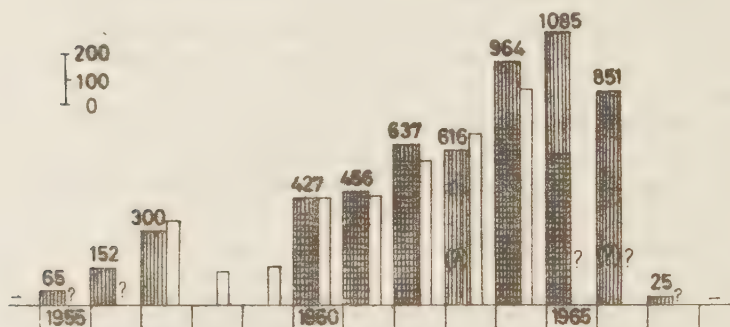
4. Die Sande bei Antete wurden manuell in Loren geladen, die zur Konzentrationsanlage geschoben werden mußten. 100-200 t täglich wurden auf diese Weise bewältigt.

5. Drei Konzentrationsanlagen waren in Betrieb: Fort Dauphin, Antete und Isandravinany. Sie waren mit Humphrey's Wendelrinnen, Sieben, Schüttelrinnen und Magnetscheidern bestückt. Wegen der Feinkörnigkeit der Schwerminerale dort konnte der größte Teil des Quarzsandes durch Sieben entfernt werden. So erhielt man mit geringen Verlusten ein Vorkonzentrat mit 65-75% Schwermineralen. Naßmechanisch wurden sie anschließend bis auf 95% angereichert. Die Magnet-

scheider erlaubten schließlich die Aufteilung in Ilmenit-, Zirkon- und Monazitkonzentrate.

6. Madagaskars Gesamtproduktion an Monazitkonzentraten gibt Abb.25. Die ab 1966 erkennbare Rezession und folgende Einstellung der Produktion wurde mit dem übermächtigen Konkurrenzdruck Australiens begründet.

breite Säule hell: Produktion schmale Säule: Export
do. dunkel: Antete's Anteil - in t nach (299) -



Der Exportwert veränderte sich von \$ 255/t (1961) und \$ 238/t (1962) auf \$ 213/t im Jahre 1965.

7. Die Ausbeutung der Sande hatten ausschließlich französische Firmen übernommen. Die produktivste Anlage - Antete - wurde von der Société de Traitement des Sables du Sud de Madagascar (SOTRASSUM), einer Tochter des französischen CEA und der Péchiney-St.Gobain-Gruppe, betrieben. Fort Dauphin (bzw. Vohibarika) gehörte der Société d'Exploitation des Monazites und Etablissement Tricot unterhielt die Aufbereitungsanlage Isandravinany. Antete war eingerichtet auf einen jährlichen Ausstoß von 1200-1500 t Monazitkonzentrat. Fort Dauphin vermochte 100.000 t Erz durchsetzen, dem man bis zu 1500 t Monazit abgewinnen konnte. Isandravinany besaß eine normale Leistung von 300 t Monazit im Jahr.

MALAYSIA

1. Die Nebenminerale der Zinnsteinlagerstätten sind regional unterschiedlich verteilt. Die Karte (aus GOCHT (75)) zeigt, daß Monazit (Ce) und Xenotim (Y) besonders in den Zinngruben der



Ostseite Malaysias vertreten sind.

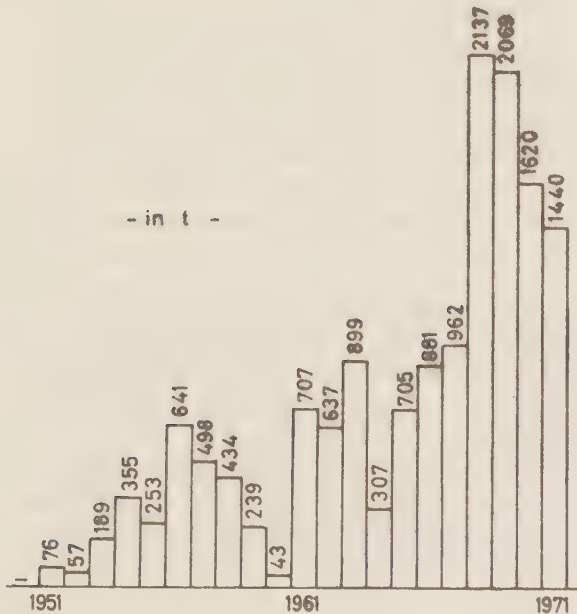
3. Verschiedene Erzmineralkonzentrate fallen als Nebenprodukte in den Gruben an, und tragen zur Verbesserung der finanziellen Basis des Zinnbergbaus bei. So bringt es Malaysia zu einer bemerkenswerten Produktion an Ilmenit, Monazit, Zirkon, Xenotim und Columbit. NININGER (276) erkannte, daß die Gruben mit den besten Monazitgehalten zu den schwächeren Zinnbezirken gehören. Er erwähnt in diesem Zusammenhang die Staaten Perlis, Kedah, Kelantan und Trengganu sowie die ehemaligen Straits Settlements Wellesly und Dinchings. FLINTER (73) bringt eine detaillierte Untersuchung von 15 alluvialen Monazitproben aus Zinnminen, die sich über die ganze Westküste verteilen. Es fällt auf, daß vielen Proben neben Monazit andere S.E.-Akzessorien wie Xenotim, Orthit, Euxenit und Fergusonit beigemengt sind. ThO_2 ist durchschnittlich zu 6,1% und U_3O_8 etwa zu 0,4% im Monazit enthalten. Die Gehalte der Seltenen Erden wurden von ihm wie folgt festgestellt:

Ce ₂ O ₃	. . .	20,7-29,6	%
La ₂ O ₃	. . .	9,1-14,4	%
Pr ₂ O ₃	. . .	2,6- 3,0	%
Nd ₂ O ₃	. . .	10,6-15,4	%
Sm ₂ O ₃	. . .	2,0- 4,3	%
Eu ₂ O ₃	. . .	0,0- 0,6	%
Gd ₂ O ₃	. . .	0,5- 3,3	%
Tb ₂ O ₃	. . .	0,0- 0,3	%
Y ₂ O ₃	. . .	1,0- 2,4	%

5. Die Gewinnung der Nebenminerale steckt noch im Anfangsstadium und ist ein Problem des maschinellen Besatzes, an dem es vor allem den unzähligen kleinen Gruben noch mangelt. In vielen dieser Minen werden die Sande noch manuell gefördert und nur naßmechanisch aufbereitet. Eine Abtrennung der Nebenminerale unterbleibt dabei. Zentrale Aufbereitungsanlagen können hier Abhilfe schaffen, wie das Beispiel der Forschungsabteilung des Department of Mines in Ipoh zeigt, die mit ihrer Aufbereitungsversuchsanlage alle wichtigen Nebenminerale aus den angelieferten Konzentraten der kleinen Gruben separiert (vgl. GOCHT (75)). Für die Herstellung eines Monazitkonzentrats wird generell so verfahren, daß durch Siebgänge eine Vorkonzentrierung des Rohmaterials wird, weil die verschiedenen Minerale unterschiedliche durchschnittliche Korngrößen besitzen. Die weitere Trennung, insbesondere von der nicht nutzbaren leichten Fraktion, wird üblicherweise mit jigs und tables durchgeführt. Den verbliebenen Schwermineralfraktionen wird Monazit und Ilmenit mit Magnetscheidern unterschiedlicher Intensität entzogen. Elektrostatische Trennverfahren werden für die Verbesserung des Reinheitsgrades der Konzentrate herangezogen. In Johore und Trengganu dienen sie auch der Abtrennung des Monazits von einem Teil des Zinnsteins, der sich durch Verwachsungen dort ebenfalls schwach magnetisch verhält.

6,7. Man hat einmal geschätzt, daß bis zu 4000 t Monazit die Konzentrationsanlagen in Malaysia passieren. Die Exporte der letzten Jahre lassen erkennen, daß die Produktion sich den Möglichkeiten anzupassen beginnt. Nicht nur die vielen Zinnseifen, sondern auch zwei Ilmenitvorkommen der Ishihara Industrial Company of Osaka in Trengganu (Ostküste) tragen größere Mengen zur Monazitkonzentratproduktion des Landes bei. Die jährlichen Exporte Malaysias finden sich nach Angaben des dortigen Department of Mines in dem folgenden Histogramm zusammengestellt:

Abb.26: Malaysias Monazit-
konzentratexporte
(nach (261))



Xenotimkonzentrate werden zur Zeit aus mindestens 36 kleineren Gruben der Ostküste produziert. Die Konzentrate führen im allgemeinen um 25% Y_2O_3 . Sharikat Harper Gilfillan Berhad ist dabei, mit Unterstützung der British Rare Earths Ltd. auf chemischem Wege den Y_2O_3 -Gehalt auf 60% anzureichern.

Die Xenotimkonzentrate werden zumeist über die Oriental Thai Corporation of Kuala Lumpur gehandelt.

Tab.13: Malaysias Xenotimkonzentratexporte nach (261).

1961	5 t	
1962	5 t	
1963	5 t	
1964	10 t ⁺	+ Schätzwert
1965	10 t ⁺	
1966	76 t ⁺⁺	++ Produktion
1967	?	
1968	62 t	
1969	106 t	
1970	375 t	
1971	123 t	•
1. Hälfte 1972	-	

NIGERIA - JOS BUKURU KOMPLEX

1. Der Granitkomplex gehört zum Bergland von Bauschi und bildet die Umgebung der Stadt Jos.
2. In alte Gneise und Schiefer intrudierte der zu den "Jüngeren Graniten" gehörende Jos Bukuru Granit und ist im Laufe der Zeit von mehreren Erosionsphasen betroffen worden. Dabei hat sich eine gewöhnlich um 30 m mächtige Verwitterungsdecke herausgebildet, aus deren alluvialen Umlagerungen produziert wird.
3. Gewonnen werden Zinnstein- und Columbitkonzentrate, wobei Monazit, Thorit, Xenotim und gelegentlich Samarskit nebenher mit anfallen können.

Eine Analyse des Thorits ergab 40,4% ThO_2 , 4% U_3O_8 und 7% S.E.-Oxide. Der Xenotim enthält um 1% ThO_2 , 0,2% U_3O_8 und 60,5% S.E.-Oxide, von denen ca. 98% auf die Yttererden entfallen.

Über die Reserven der Nebenprodukte liegen kaum Daten vor. Die Thoritvorräte wurden gegen Ende der fünfziger Jahre auf 3-4000 t geschätzt. Monazit dürfte in gleicher Größenordnung vorrätig sein.

- 4,5. Die Seifen werden mit Baggern abgebaut, die sich oft jedoch erst nach Zerstörung des Kornverbandes mit Monitoren einsetzen lassen. Mit einfacher naßmechanischer Ausrüstung (Setzmaschinen und Herde) werden am Ort Vorkonzentrate hergestellt, die dann in den wenigen zentralen Aufbereitungsbetrieben weiter angereichert werden. Dabei finden Kombinationen aus Schwereretrennung, Magnet- und Hochspannungsscheidern Anwendung.

Schwierigkeiten entstehen aus den häufigen Verwachsungen der Minerale und der Vielfalt ihrer Paragenese, weil dadurch weite Überlappungsbereiche in den physikalischen Eigenschaften der Minerale eintreten.

- 6,7. Über 25 meist kleinere Unternehmen haben an der Ausbeutung der Vorkommen teil. Größter Produzent ist Amalgamated Tin Mines of Nigeria Ltd. Die Monazitkonzentratproduktion Nigerias schwankt seit 1959 um 10 t/Jahr, nur 1967 wurden 114 t hergestellt. Die Thoritproduktion liegt generell um eine Zehnerpotenz höher.

SHRI LANKA

1. Die klassischen Vorkommen Shri Lankas, die Strände von Beruwala und Kaikawala, gehören südlich von Colombo zur SW-Küste der Insel. Neuere Küstenseifen fand man an der NE-Küste bei Pulmoddai und Tirukkovil.
3. Die kleinen Lagerstätten von Beruwala und Kaikawala führen zwischen 5 und 10% Monazit und gehören damit zu den reichhaltigsten Vorkommen der Erde.

Die Erzvorräte bei Pulmoddai sind größer und werden auf ca. 4 Mio.t geschätzt. Davon entfallen 72% auf Ilmenit, 18% auf Zirkon und Rutil und nur 0,3-0,4% auf Monazit, der zu 9% ThO_2 enthält.

Von Tirukkovil liegen keine Daten vor.

5. Für die Monazitgewinnung steht einzig die Konzentrationsanlage Katukurunda zur Verfügung, die jährlich nur etwa 1000 t Rohmaterial durchsetzt. Das Material wird innerhalb eines oder zweier Monate von der SW-Küste eingeholt. Die restliche Zeit des Jahres geht dort kein Bergbau um. Mit Hilfe naßmechanischer Trennungsgänge und eines Magnetscheiders werden 99%ige Monazitkonzentrate erzeugt.

Den Sanden von Pulmoddai entzieht man am Ort den Ilmenitgehalt mit Magnetscheidern. Die Rückstände wurden gelagert. Sie sollen in Kürze in einem jüngst bei Trincomali fertiggestellten Aufbereitungswerk weiterbehandelt werden. Man sieht vor, Konzentrate von Rutil, Zirkon, Monazit und Sillimanit zu gewinnen.

6. Nach Einbau des Magnetscheiders' (1960) in Katukurunda erreichte man neben der Verbesserung des Reinheitsgrades auch eine Verringerung der Monazitverluste. 1961 begannen umfangreiche Reparaturen, die bis 1964 anhielten. Während dieser Zeit wurde nicht produziert.

Die Produktionsziffern sind nach Angaben des U.S. Bureau of Mines in Abb.27 zusammengestellt.

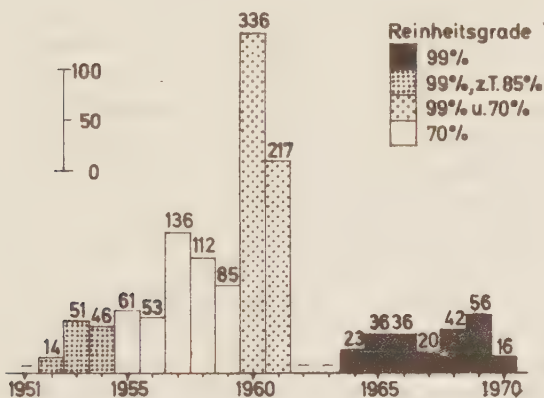
Das Aufbereitungswerk bei Trincomali ist auf eine Kapazität von 400-500 t Monazitkonzentrat pro Jahr ausgerichtet, was bei Auslastung den Monazitausstoß Shri Lankas mehr als verzehnfachen würde. Der Produktionsbeginn war für Anfang der 70-er Jahre vorgesehen.

7. Katukurunda wird vom Geological Survey of Shri Lanka geführt. Trincomali wurde von der staatlichen Ceylon

Mineral Sands Corporation errichtet, die auch den Abbau und die Ilmenitkonzentrationsanlage bei Pulmoddai betreibt.

Abb.27: Shri Lankas Monazitkonzentratproduktion
(nach (299))

- in t -



SÜD-KOREA

- Aus Süd-Korea sind fluviatile und marine Seifen bekannt.
- Monazit ist darin das häufigste S.E.-Mineral, der lokal von Orthit, Xenotim, Euxenit, Fergusonit und Samarskit begleitet sein kann. Die Monazitreserven, verteilt über viele meist kleinere Vorkommen, übersteigen 100.000 t.
- 6,7. Die Korea Rare Elements Development Co. stellte seit 1952 aus ihrer Lagerstätte Pi-in etwa 80%-

ige Monazitkonzentrate her, 1962 noch 685 t. Nach zweijähriger Pause wurde die Produktion auf reduzierter Basis wieder aufgenommen: 1965 25 t, 1966 12 t und 1967 13t. Ab 1968 wird keine Produktion mehr ausgewiesen.

U.S.A. - SEIFEN

1. Die Vereinigten Staaten von Amerika verfügen neben den marinen Küstenseifen von Florida und Georgia auch über S.E.-haltige Flußseifen. Dazu gehören die Vorkommen in der Umgebung des Idaho-Batholiths sowie die beiden Monazitgürtel entlang der Ostabdachung der Appalachen; der eine über 15-80 km Breite und fast 1000 km Länge von Virginia bis nach Alabama reichend, und der weiter östlich gelegene andere, der mit einer durchschnittlichen Breite von 8 km sich über ca. 300 km von Fredericksburg, Virginia, gen S bis hinein nach North Carolina hinzieht.
3. In den Seifen der Küstenplattform sind Ilmenit und Zirkon die Schwermineralkomponenten; Monazit und Xenotim gehören zu den Nebenmineralen. Zahlen über Gehalte und Reserven werden nicht veröffentlicht.

Die beiden Monazitgürtel enthalten den Monazit i.a. zwischen 0,3 und 5 kg/m³ Fördergut, mit Spitzenwerten bis zu 25 kg/m³. Die Vorräte werden mit 700.000 t Monazit veranschlagt. Xenotim ist selten.

Das wichtigste Vorkommen Idahós ist Bear Valley, eine Flußseife mit 0,6 kg Euxenit pro m³ Fördergut und Monazit mit 0,3 kg/m³. Vorräte: 30-35.000 t Euxenit und ca. 17.000 t Monazit.

- 6,7. Genaue Daten über ihre Monazitproduktion geben die USA auch nach Aufhebung (1955) des gesetzlichen Publikationsverbots von 1946 nicht preis.
Bear Valley stand während der 50-er Jahre in

Produktion. Dabei dürften insgesamt ca. 2000 t Euxenit und etwa 1000 t Monazit gefördert worden sein.

Bis 1958 wurden in der Umgebung von Aiken, S.C., aus Flußseifen Monazit- und Xenotimkonzentrate extrahiert.

Der großmaßstäbliche Abbau auf der Küstenplattform hat sich Ende der 60-er Jahre von Florida nach Georgia verlagert. Bei Folkston arbeitet seit 1969 die Humphreys Mining Co., eine Tochter der E.I. Du Pont de Nemours & Co., Inc., in den Alluvionen und gewinnt Monazitkonzentrat als Nebenprodukt, wahrscheinlich auch etwas Xenotim. Man nimmt an, daß dieses Unternehmen ca. 6% des S.E.-Vorstoffangebots der Welt erzeugt (vgl. SAMES (285)). Mithin müßten dort um 1500 t Monazitkonzentrat pro Jahr gewonnen werden.

8. OVERSTREET, W.C. et al. (100); SAVAGE, C.N. (109).

U.S.A. - PHOSPHORITLAGERSTÄTTEN

ALTSCHULER et al. (53) diskutieren die Möglichkeiten aus der Phosphatgewinnung der USA Seltene Erden zu produzieren. Sie weisen darauf hin, daß die Kosten für den Abbau und die Aufbereitung bis hin zur vollständigen Auflösung des Phosphorits bereits von der normalen Phosphorsäureherstellung gedeckt sind. Zusatzkosten entstünden nur durch die Einschaltung eines Extraktionsprozesses für die Seltenen Erden.

Die wichtigsten Phosphatlagerstätten der USA sind die BONE VALLEY FORMATION in Florida und die PHOSPHORIA FORMATION in Idaho und Montana. Aus diesen beiden Vorkommen sind 1964 gut 2 Mio.t Phosphorsäure (H_3PO_4) hergestellt worden, wofür etwa 5,4 Mio.t Phosphorit durchgesetzt wurden. Die Extraktion der darin zwischen 0,04 und 0,06% vertretenen Seltenen Erden erlaubte eine Produktion von rund 3000 t S.E.-Oxide/Jahr. Die Autoren

quantifizieren das Potential für die einzelnen Seltenen Erden in der Phosphoritproduktion Floridas des Jahres 1964:

		im Phosphorit (ppm)	in der Förderung (t)
Tab. 14: Seltene Erden im Phosphorit Floridas. nach (53)	Y	110	525
	La	150	716
	Ce	120	572
	Pr	30	143
	Nd	70	334
	Sm	30	143
	Eu	4	20
	Gd	14	67
	Tb	4	20
	Dy	16	76
	Ho	4	20
	Er	21	100
	Tm	2	10
	Yb	8	41
	Lu	3	15
total		589	2817

Aus der Produktion der Phosphoria Formation könnten bei 0,04% S.E.-Oxiden insgesamt um 300 t S.E.-Oxide extrahiert werden.

Die beiden genannten Lagerstätten verfügen über Vorräte von etwa 1,5 Mio.t S.E.-Oxide. Weitere Phosphoritlagerstätten sind in Nord-Florida und in North Carolina aufgeschlossen worden, so daß sich die Gesamtreserven der USA an Seltenen Erden im Phosphorit 2 Mio.t nähern.

II,2,6 Sonstige

Unter dieser Rubrik stellen sich jene Lagerstätten ein, die entweder wegen fehlender Informationen oder aufgrund andersartiger oder umstrittener Genese nicht einer der vorigen Klassen zugeordnet werden konnten.

BLIND RIVER BEZIRK (Kanada)

1. Der Blind River (auch Elliot Lake oder Algoma) Bezirk gehört zur Provinz Ontario und schließt sich unmittelbar nördlich an den Huron See an.
2. Der präkambrische Missagi Quarzit führt an seiner Basis Konglomerate, die zur Hauptsache aus Quarzgeröllen bestehen und Granite und Gneise transgredieren. In der sulfidischen Matrix der Konglomerate finden sich fein verteilt radioaktive Minerale, die meist in linsenförmigen, 3 bis 10 m mächtigen Partien angereichert vorkommen.

Der Ausstrich des Konglomerats läßt sich mit Unterbrechungen über mehr als 120 km verfolgen.

3. Der yttriumführende Brannerit und Uraninit sind die wichtigsten Uranerze. Sie werden begleitet von Monazit und Zirkon sowie von etwas Uranothorianit und Thucholit.

Ziemlich übereinstimmend nach verschiedenen Schätzungen sind aus dem Blind River Konglomerat bis zu einer Tiefe von 1150 m Vorräte von 300-400 Mio.t Erz zu erwarten. Das Fördergut enthält etwa 0,1% U_3O_8 , 0,05 ThO_2 und 0,02 S.E.-Oxide. Die vorherrschenden Seltenen Erden sind in dieser Reihenfolge: Y, Ce, La und Nd.

- 6,7. Drei Unternehmen fördern aus dem Bezirk: Rio Algom Mines Ltd., Denison Mines Ltd. und Stanrock Mines Ltd.. Rio Algom und Stanrock begannen 1965 bzw. '66 mit der Herstellung von Yttriumkonzentraten. Rio Algom produzierte etwa 40 t/Jahr in ihrem Werk Nordic Plant. Stanrock brachte es 1966 auf 5 sht; die Produktionskapazität ihrer Yttriumkonzentrationsanlage steht auf 7 t/Jahr. Denison Mines kam 1967 mit Yttriumkonzentrat auf den Markt und gilt seither als der größte einschlägige Produzent. Das Unternehmen verfügt über eine Produktionskapazität

von etwa 150 t/Jahr. Ihr Produkt, ein etwa 50%-iges Konzentrat, enthält ca. 25% Y_2O_3 sowie je 13% Oxide der Cerit- und Littererden und kostete 1970 zwischen \$ 12 und 20/lb.

1967 wurden insgesamt 160.078 lb Yttriumkonzentrat im Wert von \$ 1,69 Mio. produziert.

Wegen des Preiserückganges für Yttriumoxid stellte Rio Algom Mines 1969 und 1970 seine Produktion ein.

So sank der Ausstoß von 51,4 (1968) auf 39,1 t (1969).

BOU NAGA (Mauretanie)

1. Die Lagerstätte befindet sich in der Sahara im Süden des Landes, ca. 350 km WSW von Nouakschott.
3. Nach einer vorläufigen Bewertung belaufen sich die Vorräte auf 8-10.000 t Erz mit etwa 2-5% Monazit.
4. Es handelt sich offenbar um 0,1-1 m mächtige Gänge, die im Streichen über hunderte von Metern aushalten. Sie werden im Tagebau ausgebeutet. Wegen des extrem ariden Klimas beschränkt sich der Bergbau auf die Zeit von Oktober bis März.
6. 1968 wurden erstmals 570 t vorkonzentriertes Erz mit 4% Y_2O_3 und geringen Eu-Gehalten produziert und zur Aufbereitungsanlage La Rochelle nach Frankreich verschifft. Es ist geplant, den Ausstoß auf 1000 t zu erhöhen. Jedoch 1970 wurde die Produktion wegen des Preiserückganges für Yttriumoxid vorerst eingestellt.
7. Die Péchiney-St.Gobain Gruppe erhielt im April 1967 die Prospektionskonzession für Bou Naga. Bald darauf gründete sie mit Beteiligung der mauretanischen Regierung die Société d'Exploitation Minière et des Recherches de Mauritanie (SOMIREMA), die den Abbau betreibt.

LEMHI PASS (USA)

1. Der Bezirk gehört zu den Beaverhead Mts., und befindet sich 40 km südöstlich von Salmon, Idaho.
2. Die Vererzungen halten sich an schwach gefaltete und von einem komplexen Störungssystem beanspruchte quarzitisches und phyllitische Gesteine der präkambrischen Belt-Serie. Kleine dioritische und lamprophyrische Körper sind intrudiert und werden in einen genetischen Zusammenhang mit den vielen Gängen des Bezirks gebracht. Die Mineralisierung erlaubt eine Gliederung in vier Gangtypen:

- 1- Quarz-Kupfer-Gänge
- 2- Quarz-Hämatit-Gänge
- 3- Quarz-Baryt-Hämatit-Thorit-Gänge
- 4- Quarz-Kupfer-Thorit-Gänge

Seltene Erden finden sich hauptsächlich in den Typen 3 und 4.

3. An Mineralen der Seltenen Erden wurden festgestellt: Orthit, Monazit, Xenotim (?) und Euxenit (?). Bemusterungen, die große Teile des Bezirks integrieren ergaben übereinstimmend eine durchschnittliche ThO_2 -Führung von 0,75% und vergleichbare Gehalte an S.E.-Oxiden in den Gängen.⁺ Die Ceriterden sind nur wenig häufiger als die Yttererden, die lokal sogar vorherrschen können. Eu und Nd sind überdurchschnittlich vertreten⁺. Die Vorräte sind beträchtlich; so spricht man von über 100.000 t ThO_2 und etwa ebensoviel S.E.-Oxide.
4. Die Gänge halten im Streichen zufriedenstellend aus, und erreichen Mächtigkeiten, die bis an 15 m heranreichen. Ungünstig erscheint der rasche Wechsel in der Mineralführung.
6. Bislang ging Abbau nur sporadisch und meist für Aufbereitungsversuche um. Eine regelmäßige Ausbeutung der Lagerstätte wird angestrebt.

⁺vgl.: STAATZ, M.H., 1971, (115).

7. Die Besitzverhältnisse sind unübersichtlich, da sehr viele Firmen über Konzessionen am Bezirk verfügen. Einige ragen heraus, so die Agency Creek Thorium & Rare Metals Corp., die 78 Claims besitzt. Sie ging 1960 einen Kontrakt mit der Rare Metals Corp. of America ein, demzufolge beide die Erschließung der Lagerstätte vorantreiben wollen. Nuclear Fuels & Rare Metals Corp. erwarb 1959 Konzessionen über ein 28 km^2 großes Gebiet. Die Sawyer Petroleum Company hält 64 Claims. 1966 beschloß sie mit der Union Pacific R.R. Company eine Zusammenarbeit auf vertraglicher Basis, wonach die Union Pacific die technische Durchführung der Erschließungsarbeiten und das Marketing verantwortlich übernimmt. Der Nettogewinn wird aufgeteilt. Th- und S.E.-Produkte sollen hergestellt werden.
8. ANDERSON, A.L. (54); SHARP, W.N. & CAVENDER, W.S. (111); MARSH, J.A. (91), S. 23; STAATZ, M.H. (115).

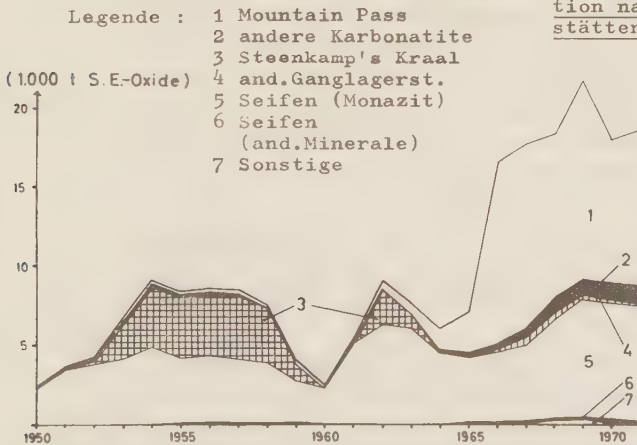
II,3 DAS WELTVORSTOFFDARGEBOT UND SEINE ZUSAMMENSETZUNG.

Die Abbildung 28 stellt die Entwicklung der bergbaulichen Weltproduktion⁺ an Vorstoffen der Seltenen Erden dar, untergliedert nach den Beiträgen der verschiedenen Lagerstättentypen und ausgedrückt in S.E.-Oxid-Äquivalenten⁺⁺.

Das Datenfundament ist den schon im vorangegangenen Abschnitt zitierten Quellen, überwiegend also den Veröffentlichungen des U.S.Bureau of Mines entnommen und durch einige Interpolationen, Projektionen und Schätzungen verdichtet worden. Die subjektiven Eingriffe für die Vervollständigung und zur Herstellung der inneren Vergleichbarkeit der Datenmasse sind vorsichtig vorgenommen worden, so daß die absoluten Aussagen der Kurvenschar als Minimalwerte zu verstehen sind.

Am Rande sei erwähnt, daß die nationalen Statistiken zur Bergbauproduktion und die Außenhandelsstatistiken die Seltenen Erden gewöhnlich in unverwertbaren Sammelrubriken gemeinsam mit anderen Rohstoffen aufführen oder gänzlich unberücksichtigt lassen.

Abb.28: Vorstoffproduktion nach Lagerstättentypen.



⁺ ohne Ostblock.

⁺⁺ die Produktion ist jeweils auf ihre Gehalte an S.E.-Oxiden umgerechnet worden.

Aus der Abb.28 wird ersichtlich, daß die Lagerstätten-typen sehr unterschiedlich an der Vorstoffbereitstellung teil hatten, ja daß die Rohstoffbasis der Seltenen Erden sich nur auf drei Lagerstättentypen stützte:

- 1- Der Bergbau in Karbonatiten, bis 1963 noch ohne Bedeutung, wuchs innerhalb von drei Jahren zum wichtigsten Vorstoffproduzenten heran und behauptet seit 1966 einen Anteil von rund 60%. Dieser Aufschwung geht bestimmend auf den exzeptionellen Ausbau der Produktionskapazität in Mountain Pass (vgl. S.51) zurück.
- 2- Die Seifenlagerstätten hatten stets substantiell zur Vorstoffversorgung beigetragen und stellen zur Zeit die einzige Konkurrenz für den Karbonatitbergbau dar. Die Produktion aus Seifen hat sich seit Anfang der 50-er Jahre gut verdoppelt, und die Voraussetzungen für weitere Steigerung stehen günstig.
- 3- Die hydrothermalen Ganglagerstätten waren in ihrer Bedeutung - wie die Karbonatite - nur an ein Vorkommen, die einzigartige primäre Monazitlagerstätte bei Steenkamp's Kraal gebunden. Sie stand während der 50-er Jahre und noch einmal 1962-63 in Produktion und bestritt zeitweise über 40% des gesamten Vorstoffaufkommens der S.E.
Seit 1966 liefert die Outokumpu Oy aus einem ähnlichen Typ (Korsnäs) größere Mengen allerdings sehr niedriggradiger S.E.-Konzentrate.

Der Beitrag aus Graniten, Granitpegmatiten, Metamorphiten und - ganz im Gegensatz zu den Verhältnissen in der Sowjetunion - auch aus Alkaligesteinen war - zumindest quantitativ - unerheblich.

Bezieht man die Reserven (alle Kategorien) der produzierenden und potentiellen Lagerstätten in die Betrachtung mit ein, dann verschiebt sich das Bild (vgl. Abb.29 umseitig). Dann sind es neben den Karbonatiten auch die

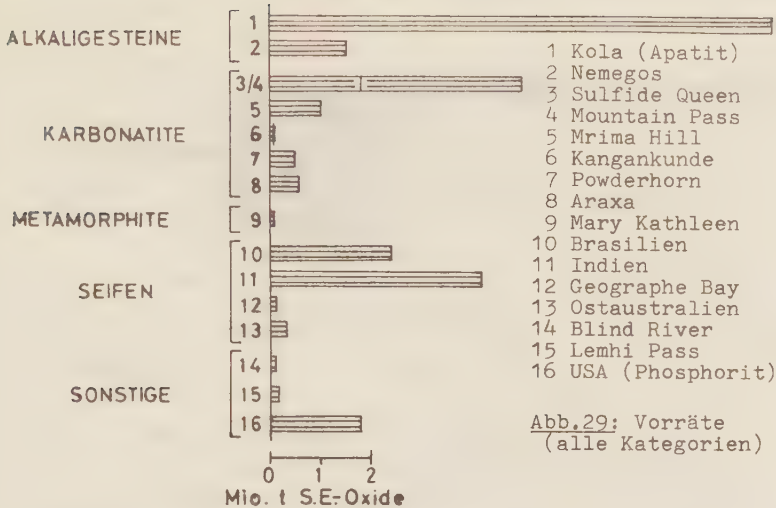


Abb.29: Vorräte
(alle Kategorien)

Alkaligesteine, die über ein beachtliches, ja sogar - mit Blick auf die Halbinsel Kola - über das wohl größte derzeit bekannte Potential an Seltenen Erden verfügen. Ferner wird die Substantielle Bedeutung der Seifenlagerstätten, besonders der marinen Strandseifen bekräftigt. Auch andere sedimentäre Vorkommen, wie die großen Phosphoritlagerstätten der USA oder die in der Abbildung nicht berücksichtigten ausgedehnten Manganknollenhorizonte auf den Meeresböden stellen ein beträchtliches S.E.-Reservoir mit zwar geringen, möglicherweise aber wirtschaftlich gewinnbaren Gehalten dar.

In der nächsten Abbildung (30) ist die Vorstoffproduktion auf ihren mineralischen Ursprung zurückgeführt worden. Darin zeigt sich beispielsweise für das Jahr 1967, daß Bastnäsit zu über 60% und mit Monazit zu ca. 95% daran beteiligt sind. Beides sind Minerale der Ceriterden (vgl.S.16). An den verbleibenden fünf Prozent partizipieren überdies weitere Ceriterden-bevorzugende Minerale wie Pyrochlor, Orthit, Cerit u.a. So bleibt nur ein geringer Bruchteil, den Minerale der Yttererden zum Gesamtvorstoffaufkommen beitragen.

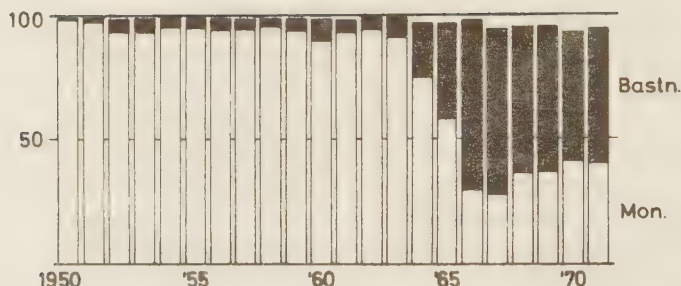


Abb.30: Die Entwicklung der Anteile von Bastnäsit und Monazit am Gesamtvorstoffaufkommen (=100).

Auf der Basis der für die Rohstoffkonzentrate veröffentlichten Analysenwerte ergibt sich für die Vorstoffproduktion von vier ausgewählten Jahren, bezogen auf die Verteilung in der Lithosphäre (vgl. Abb.2, S.12), das folgende Bild der S.E.-Verteilung (Abb.31). Es veranschaulicht die aus der einseitigen Gewinnung Ceriterden-betonter Minerale zu erwartende Verschiebung zugunsten der Ceriterden, ab 1965 sogar speziell von La, Ce u. Eu, bedingt durch den gestiegenen Bastnäsiteinfluß.

S.E.- Verteilung

S.E.- Verteilung in Lithosphäre

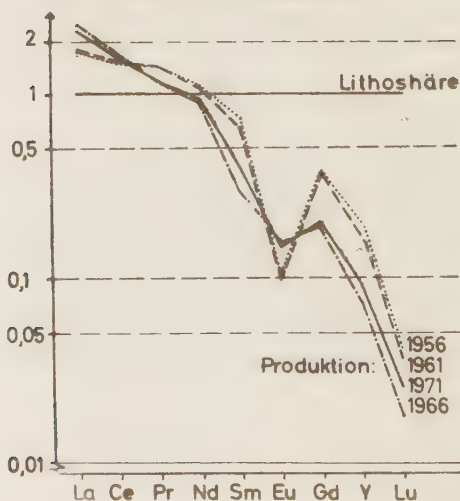


Abb.31 :

Im Vergleich zur S.E.-Verteilung der Lithosphäre sind die Yttererden in der Vorstoffproduktion deutlich unterrepräsentiert.

Bei differenzierter Betrachtungsweise verändern sich auch die weiter oben für die Seltenen Erden pauschal umrissenen Anteile der Lagerstättentypen am Vorstoffaufkommen in charakteristischer Weise:

Abb.32-35: Beiträge der Lagerstättentypen am Vorstoffaufkommen d.J.1970 für....

Abb.32..Certerden

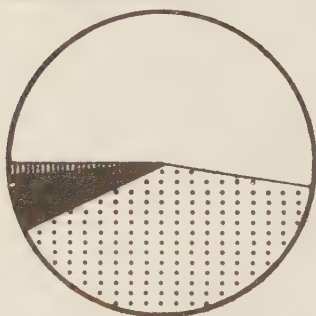


Abb.33..Ytterden

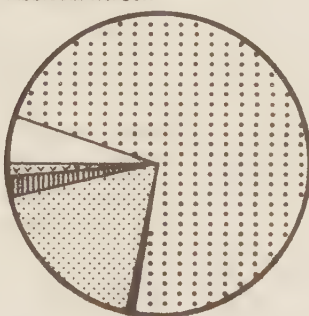


Abb.34:
...Europium

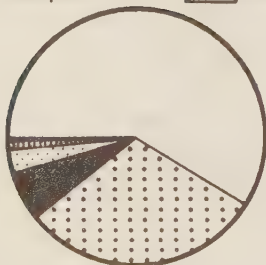
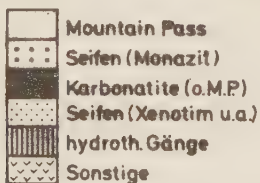
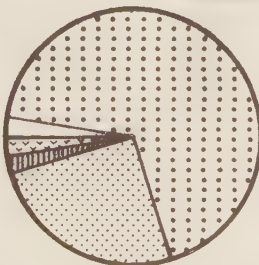


Abb.35:
...Yttrium



II,4 ZUR ÖKONOMISCHEN SITUATION DER LAGERSTÄTTEN

II,4,1 Einführung

Die privatwirtschaftlichen und mit Einschränkungen auch die staatlich geführten bergbaulichen Unternehmen haben grundsätzlich zur Zielsetzung die Sicherung und Maximierung des Periodengewinns. Das impliziert die Bereitschaft eine optimale Kombination der Produktionsfaktoren herbeizuführen. Die Voraussetzungen dafür sind nicht immer gegeben; sie können z.B. durch Mangel an Finanzkapital oder Arbeitskräfte, durch ungenügend ausgebildetes Personal oder durch Direktiven weisungsbefugter Stellen eingeschränkt sein. Über die unterschiedlichen Voraussetzungen für den Faktormengeneinsatz hinaus, müssen die Unternehmen weiteren ökonomischen Größen, den Kosten Rechnung tragen. Diese unterliegen gleichfalls den verschiedensten Einflüssen, die etwa wie folgt gegliedert werden können:

- natürliche Einflußfaktoren
- technische E.
- ökonomische E.
- politisch-soziologische E.

Darunter sind es besonders die natürlichen und ökonomischen Einflußfaktoren, die im Rahmen dieser Arbeit interessieren und deren qualitative Auswirkungen auf die Produktionskosten der Bergbaubetriebe betrachtet werden. Lagerstättenbetriebe, deren Rentabilität nur untergeordnet von den Seltenen Erden abhängt, werden von den S.E.-Lagerstätten i.e.S. gesondert behandelt. Drei Fälle werden unterschieden:

- 1- Bergbaubetriebe, deren Rentabilität wesentlich mit der S.E.-Produktion zusammenhängt (S.E. als Hauptprodukte)
- 2- Bergbaubetriebe, die Vorstoffe der Seltenen Erden als Nebenprodukte gewinnen (S.E. als Nebenprodukte)
- 3- Bergbaubetriebe, deren Produkte über Nebengehalte der Seltenen Erden verfügen, die jedoch nicht in der Bergbaustufe abgetrennt werden (S.E. als Nebengehalte)

II,4,2 Seltene Erden als Hauptprodukte

Die tabellarische Übersicht bringt eine Gegenüberstellung von grundlegenden vergleichbaren Einflußgrößen der produzierenden und bedeutendsten potentiellen Vorkommen.

Tab.15: Gegenüberstellung der natürlichen Kosten- und Einflußfaktoren ausgewählter Lagerstätten.

Lagerstätte:	KARONGE	MOUNTAIN PASS	STEENKAMP'S	BEAR VALLEY	SRI LANKA	KANGANKUNDE	MAIMA HILL
Stand der Aktivitäten:	in Abbau	Sulfide Queen in Abbau	KRAAI seit 1963 stillgelegt	(vgl.S.100) seit 1959 stillgelegt	in Abbau	in Abbau	erkundet 1967-1969
Einflußgrößen	0,5 Mio.t um 3%	15 Mio.t 8%	0,25 Mio.t min. 20%	~ 100 Mio.t ~ 0,02%	41 Mio.t um 5%	~ 1,8 Mio.t im Eluvium ~ 4%	6 Mio.t im Eluvium 5%
Erzreserven*							
Gehalte (als S.E.-Oxide)							
Typ, Lage oder Form der Lagerstätte	schmale, vernetzte Karbonatitkänge	mächtiger, gangförmiger Karbonatit- ausbiß	mächtiger Gang, steil einfallend	oberflächen- nahe, ausge- seifen	Strand- seifen	großflächiger Karbonatit- ausbiß	mächtiger, gangförmiger Karbonatit- ausbiß
Abraum/Erz	groß (um 50)	sehr klein	klein	klein	klein	klein	klein
S.E.-Minerale	Basbnäsit	Basbnäsit	Monazit	Euxenit Monazit	Monazit	Monazit u.a.	Monazit u.a.
Cerit-/Yttererd. wichtige Nebenminerale	~ 100 Eisenoxide	250 Baryt	15-20 Kupfererze	0,5 Columbit Ilmenit Magnetit	15-20 Ilmenit Zirkon Rutil	> 20 Strontianit	> 20 Pyrochlor Baryt
gewinnbare Nebenmetalle	-	-	Cu,Th	Nb,Ta,U,Th, Ti,Fe	Th,Ti,Zr	Sr	Nb,Ba
Gesteinsausbildg., unverwitterter Fels	unverwitterter Fels	Festgestein, unzersetzt	harter Fels	klastische Lockersedimente	fein- bis mittelkörnige Sande	feinkörniger lateritischer Boden	feinkörniger lateritischer Boden
Klima	warm, humid (subtrop.)	semiarid	semiarid	kontinental humid	tropisch humid	tropisches Savannenkl.	tropisches Savannenkl.

* alle Kategorien

Von den drei derzeit in Abbau stehenden Lagerstätten ist nur über Mountain Pass und Karonge Näheres bekannt. Über die Monazitgrube Bou Naga dagegen liegt nur wenig Information vor.

Die beiden Bastnäsitlagerstätten unterscheiden sich auffallend in ihrer Entwicklung. Karonge, mindestens seit 1946 in Produktion, erreichte in den 50-er Jahren mit einem durchschnittlichen Ausstoß von 300 t.p.a. Bastnäsitkonzentrat eine mit Mountain Pass - seit 1952 auf dem Markt - vergleichbare Leistung. Der amerikanischen Grube gelang es, die Zeit der Absatzschwierigkeiten und des Preisverfalls für die Vorstoffe der Seltenen Erden gegen Ende der 50-er Jahre zu überstehen, während Karonge den Betrieb für mehrere Jahre einstellte. Erst die spürbare Verbesserung der Nachfrage führte 1965 zur Wiedereröffnung. Mit einer Produktion, die bis an 500 t.p.a. Konzentrat heranreicht, konkurriert sie nun gegen ein Mountain Pass, daß mit einem jährlichen Ausstoß von ca. 14.000 t Bastnäsitkonzentrat eine Monopolstellung in der Vorstoffversorgung des Ceriterdensektors besitzt. Was sind die Ursachen für diese divergente Entwicklung der beiden Unternehmen?

Bergbaubetriebe sind in der Urproduktion tätig. Sie besitzen für ihre Erzeugnisse keinen Beschaffungsmarkt⁺, verfügen also nur zur Absatzseite über ökonomische Freiheiten. Daraus folgt eine starke Abhängigkeit von der Nachfrage. Der Erfolg eines Unternehmens hängt neben der Rentabilität daher entscheidend auch von den bei Betrieben der Urproduktion stets problematischen GröÖer. Flexibilität und Angebotselastizität ab. Die Rentabilität ist u.a. direkt an die natürlichen Einflußfaktoren gebunden. Vergleicht man Reserven, Gehalte und Abbaubedingungen der beiden Lagerstätten, so liegen die Vorteile eindeutig auf seiten von Mountain Pass.

Elastizität und Flexibilität werden von der Art und Intensität der weiteren Verarbeitung der Erze wesentlich mitbestimmt. Sie sind damit direkt an die Kapitalkraft, das Know-

⁺Betriebsmittel seien außer Acht gelassen.

how und die Ziele der operierenden Unternehmen gebunden. Die Molybdenum Corp. war in der Lage nicht nur den Bergbau mit modernen Produktionsmitteln zu betreiben, sondern darüber hinaus die Investitionen für die Weiterverarbeitung der Erze bis hin zu den reinen Grundstoffen vorzunehmen. Die damit erreichte Diversifizierung des Angebots bereitet ihr eine weitgehende Unabhängigkeit von der Marktlage auf dem Vorstoffsektor.

Abgesehen von der finanziellen Ausstattung der Soc. Minière de Karonge würden allein die natürlichen Voraussetzungen der Lagerstätte Investitionen dieses Umfanges nicht rechtfertigen. Es darf aber auch nicht übersehen werden, daß die Möglichkeiten und die Zielsetzungen der in einem Entwicklungsland arbeitenden Firma andere sind als die, der in einen einheimischen Markt und in ein breit angelegtes und staatlich gefördertes Initiativprogramm zur Entwicklung der Seltenen Erden eingewebte Molycorp.

Somit zeigt sich auch aus dieser Sicht die grundlegende Bedeutung der natürlichen Werte sowie der standortbedingten sozioökonomischen Bedingungen für eine Lagerstätte.

Ein Blick auf Tab.15 weist darauf hin, daß die natürlichen Voraussetzungen anderer Lagerstätten (Mrima Hill, Kangan-kunde, Wigu Hill (?)) geeignet wären, Mountain Pass in stärkerem Maße Konkurrenz zu machen. Hier sind es ebenfalls primär die standortbedingten Faktoren neben technischen Hindernissen (z.B. das noch bestehende Überangebot für Vorstoffe der Ceriterden), die eine wirtschaftliche Entwicklung der genannten Lagerstätten, die sich aus demselben Grunde nur auf den Extraktionssektor beschränken würde, behindern.

Die auf vielen Märkten der Seltenen Erden dominierende Molycorp braucht für die Behauptung dieser Positionen vorerst keine vergleichbar begünstigten Konkurrenten zu fürchten.

II,4,3 Seltene Erden als Nebenprodukte

Die folgende Tabelle gibt einen generellen Überblick über einige Einflußgrößen der wichtigsten Lagerstättentypen, die S.E.-Mineralkonzentrate als Nebenprodukte erbringen.

Lagerstättentyp Einflußgröße	GRANITPEGMATITE u. PNEUMATOLYTE	HYDROTHERMALE BILDUNGEN	RESIDUALE	ALLUVIALSEIFEN	KÜSTEN- u. DÜNEN- SEIFEN
1 Erzreserven	unterschiedlich meist gering	gering bis mittelgroß	unterschiedl. oft mittelgr.	niedrig bis sehr groß	oft sehr groß
2 häufige Hauptprodukte	Feldspat, Quarz, Glimmer; Be, Li, Nb, Ta, Sn, U, W, Bi und Edelsteine	Buntmetalle, Uranerze	Nb, Ta, Sn, Th, Zr (Hf), Apatit Kaolin, Fe, Ti	Sn, Nb, Ta, Th, U Zr (Hf), Ti, Au	Zr (Hf), Ti, Fe (V), Th
3 Gehalte an nutzbaren Mineralen	Industriemine- rale: hoch. Erze: gering (<1%)	min. 10%	um 1% bis über 5%	wechselnd, meist 1-2%	um 1% bis über 90%
4 S.E.-Gehalte	unter 1%	um 1%	unter 1%	unter 1%	unter 1% bis 5%
5 Fraktionierung der S.E.	yttererdenreich	Ceriterden	verschieden	verschieden, meist Cerit- erden	Ceriterden
6 Form der Lagerstätte	Gänge, Linsen, unregelmäßig begrenzte Körper	Gänge, unre- gelmäßige Verdrängungs- und Impräгна- tionskörper	flächenhafte, bis 30 m mächtige Körper	geringmächtige flächenhafte gestreckte Körper	langgestreckte Linsen, wenige Meter mächtig
7 Abraum/Erz	unterschiedlich	oft groß	klein	unterschiedl.	unterschiedlich
8 Gesteinsaus- bildung	Festgestein	Festgestein	Böden, oft verhärtet	- vom Abbaufahren abhängig - klastisches Lockersediment	klastische Lockersedimente
9 Korngröße	grob	-	meist fein- körnig (Laterit)	grob- bis fein- körnig (Kies, Sand, Schluff, Ton)	mittel- bis feinkörnig (Sand, Schluff)

Tab. 16: Natürliche Kosteneinflussfaktoren der wichtigsten Lagerstättentypen mit S.E.-Nebenprodukten.

Die Häufung relativ ungünstiger Einflußgrößen (1,6,7,8) für die hydrothermalen Ganglagerstätten lassen erkennen, daß die Bewirtschaftung dieses Typs i.a. nur bei hohen Gehalten und/oder hoch bezahlten Erzen (U) sowie metermächtigen Gängen rentabel ist. Die Bedeutung des allgemein einst wichtigsten Lagerstättentyps ist heute sehr zurückgegangen, da für die meisten seiner Rohstoffe andere, wesentlich rentabler zu bewirtschaftende Lager gefunden wurden.

Eine zunehmende Bedrohung durch Großlagerstätten steht auch den Unternehmen in Granitpegmatiten bevor, nachdem synthetische Stoffe schon die Glimmer-, Quarz- und Edelsteinproduktion eingeschränkt haben. Niobkonzentrate aus Pyrochlorkarbonatiten sind bereits in den letzten Jahren zu übermächtiger Konkurrenz angewachsen, und eine ähnliche Entwicklung bahnt sich für Beryllium an, dessen Markt ohnehin schon an Überproduktion litt.

Daneben können Pegmatite und Pneumatolithe einen Fundus an Rohstoffen besitzen, für deren Bereitstellung noch kein Ersatz durch Großlagerstätten abzusehen ist (Ta,W,Yttererden, Edelsteine u.a.), bzw. die so begehrt sein werden, daß man auf die Beiträge der Kleinlagerstätten in Zukunft nicht verzichten möchte (U). Auf diesem Feld liegen sie mit alluvialen Seifen und bestimmten Residualvorkommen (oft über pegmatitdurchsetzten Arealen) in Konkurrenz. Alle drei Lagerstättentypen sind bevorzugtes Betätigungsfeld von gewöhnlich schlecht ausgestatteten Kleinunternehmen bis hinab zum Einmannbetrieb. Primitive Konzentrierungsverfahren wie Handklaubung sind weit verbreitet. Permanenter Kapitalmangel verhindert hier eine günstige Kombination des Faktormengeneinsatzes ebenso wie die Erstellung einer optimalen Betriebsgröße. Die weitere Behauptung dieser Lagerstättentypen wird entscheidend davon abhängen, inwieweit sie nach modernen Erkenntnissen bewirtschaftet werden können. Besonders in den größeren eluvialen und alluvialen Vorkommen engagieren sich kapitalkräftigere Unternehmen in verstärktem Maße, aber auch kleinere Residuale und Pegmatite gewinnen

Interesse⁺.

Die marinen Seifenlagerstätten heben sich von den anderen deutlich ab. Infolge ihrer großräumigen Abbaubarkeit, der in der Regel auf physikalische Techniken beschränkten Konzentrierung und der großen Vorräte waren sie schon länger für größere Unternehmen attraktiv, so daß die Mineralgewinnung aus marinen Seifen mit modernen Verfahren fast überall, sei es im Südosten der USA, in Ost- und Westaustralien oder an den Küsten Brasiliens, Indiens und Afrikas, den Primitivabbau ersetzt hat. Der sich mehr und mehr durchsetzende Bergbau im Off-shore-Bereich bedarf sowieso höherer Investitionen und damit kapitalkräftigerer Unternehmen, so daß auch in Zukunft mit der Verlagerung der Aktivitäten in den Schelfbereich die Umstrukturierung von kleineren Betrieben auf Großanlagen fortschreiten wird.

Die ökonomische Bedeutung dieser Lagerstätten und insbesondere der marinen Seifenlagerstätten ist beträchtlich. Man kann sagen, daß die Nebengewinnung der S.E.-Minerale bei den fünf genannten Lagerstättentypen keine oder nur geringe Zusatzinvestitionen abverlangt, weil die dafür benutzten Produktionsmittel mehrheitlich bereits für die Trennung und Konzentrierung der Hauptminerale vonnöten sind. Als Beispiel sei die in den Küstendünen der Geographe Bay operierende Westralian Oil Ltd. herangezogen (vgl. WOODCOCK (131)).

Die Prozesse der Vorkonzentrierung sind mechanischer Art und verfolgen ohnehin nur den Zweck, die Schwerminerale insgesamt anzureichern. Das Vorkonzentrat gelangt in die "dry plant", wo ihm zunächst nach 14 Prozeßschritten ein Ilmenitkonzentrat entzogen wird. Die Separationsschritte umfassen vier Magnetscheidevorgänge, drei einfache Leitfähigkeitstrennungen, drei Hochspannungstrennungen und einen Siebvorgang. Weitere 12 Prozeßschritte werden für die Herstellung des Zirkonkonzentrats durchgeführt, darunter zwei Magnetscheidungen, zwei einfache und zwei Hochspannungs-Leitfähigkeitstrennungen sowie drei naßmechanische Konzentrierungen und eine Windsichtung. Für die Fertigung des Monazitkonzentrats werden nur noch zwei Magnetscheider nachgeschaltet, womit

⁺Besonders Japaner (Sumitomo Metal Mining, Matsuo Mining u.a.) tun sich bei den weltweiten Aktivitäten auf kleine Sondermetallagerstätten hervor.

nur etwa 7% der eingesetzten Apparaturen und Anlagen in der dry plant zusätzlich für die Monazitgewinnung aufgewendet werden mußten.

Entsprechend halten sich die Mehrkosten in Grenzen. Es kommt hinzu, daß die Unternehmensrentabilität üblicherweise durch die Hauptprodukte gewährleistet ist, der Erlös aus dem Verkauf der Nebenprodukte lediglich zu deren Verbesserung beitragen soll. Aus dieser Position heraus kann ein Unternehmen für seine Nebenprodukte nahezu jeden Preis akzeptieren. Haben solche Nebenprodukte einen hohen Anteil am Gesamtvorstoffaufkommen für einen Rohstoff - wie es für den S.E.-Vorstoffmarkt bis 1965 mit gewöhnlich über 50% Nebenproduktanteil der Fall war - engen sie die Wettbewerbssituation der Hauptproduzenten besonders in Zeiten schwacher Nachfrage existenzgefährdend ein. Auch nach 1965 behaupteten die Nebenproduzenten mit einem um 30% schwankenden Anteil eine starke Stellung auf dem Vorstoffmarkt.

Demgegenüber sind sie nicht in der Lage bei ansteigender Nachfrage durch bessere Auslastung oder gar Erweiterung der Produktionskapazitäten ihr Nebenmineralangebot zu erhöhen, weil damit ein proportionaler Zuwachs in der Hauptprodukterzeugung verbunden wäre. Absatzschwierigkeiten und/oder Preisverfall der für die Gruben lebenswichtigen Produkte wären die Folgen. Änderungen im Produktionsumfang werden daher nur von den Markterfordernissen der Hauptprodukte abhängig gemacht. Positive Entwicklungen auf den Nebenproduktmärkten können lediglich Anlaß geben, Überlegungen für Zusatzinvestitionen zur verbesserten Ausbringung der Nebenminerale zu realisieren.

II,4,4 Seltene Erden als Nebengehalte

Ein schwer abschätzbarer, sicher noch kleiner Teil des S.E.-Angebots wird aus mineralischen Rohstoffen gewonnen, die über geringe Nebengehalte an Seltenen Erden verfügen. Gemeinhin ziehen die Gruben selbst keinen Vorteil aus diesen Gehalten, da sie in der Bergbaustufe nicht abgetrennt

und konzentriert werden. Eher schon kommt ein negativer Effekt in Betracht, indem der S.E.-Anteil die Handelsqualität der mineralischen Rohstoffe beeinträchtigt. Dieser Fall liegt z.B. bei den Mineralen Brannerit und Davidit vor, weil deren Urangehalt durch die Seltenen Erden mehr oder weniger substituiert sein kann. Gleiches gilt für die Th-Rohstoffe Thorit, Thorianit, das Zirkoniummineral Zirkon u.a.

Dagegen befinden sich Niob und Tantal im Gegensatz zu den Seltenen Erden im Anionenteil der Minerale, so daß die Nb/Ta-Gehalte nicht unmittelbar beeinflußt werden. Ein mittelbarer Einfluß ergibt sich bei der Gehaltsberechnung nach Gewichtsanteilen. So wird eine hohe Beteiligung der ja ziemlich schweren Seltenen Erden an der Zusammensetzung eines Minerals den in Gew.-% ausgedrückten Nb/Ta-Gehalt relativ erniedrigen. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den Titanmineralen und bei den Phosphatrohstoffen Apatit und Phosphorit.

Die Separierung der Seltenen Erden erfolgt erst in einer späteren Produktionsstufe, gewöhnlich aus den Abgängen der Verhüttung. Von Bedeutung sind derzeit die Nebengewinnung von S.E.-Konzentraten bei der Uranerzaufbereitung im Elliot-Lake-Revier (Kanada) und in Port Pirie (Austr.), bei der Titangewinnung in der UdSSR sowie bei der Phosphaterzeugung in der UdSSR und in Finnland. Auch die Aufbereitung von Zirkon, Pyrochlore und Th-Erzen kann S.E.-haltige Nebenprodukte erbringen.

Diese Nebengewinnung erfordert gesonderte chemische Aufbereitungsanlagen, wo die Abgänge mehrere Prozeßschritte spezifischer Lösungsmittel-Extraktionsverfahren durchlaufen müssen, ehe ein für den Verkauf geeignetes Konzentrat entsteht. Damit muß ein entschieden höherer Aufwand getrieben werden als vergleichsweise bei der Konzentrierung der Nebenminerale. Die Unternehmen reagieren daher ähnlich empfindlich auf die Preisbewegungen der einschlägigen Absatzmärkte wie manche Hauptproduzenten. So hat die Rio Algom Mines Ltd. ab 1969 ihre Produktion von Y-Vorkonzentraten infolge der

rückläufigen Preisentwicklung für Y-Vorstoffe vorläufig einstellen müssen.

Dennoch erscheint dieser Zweig des S.E.-Vorstoffsektors als entwicklungsfähig. Zu Zeiten stabiler Marktlage wird er einen steigenden Beitrag zum Rohstoffaufkommen beibringen, insbesondere bei der Bereitstellung Yttererden-haltiger Vorstoffe. Brannerit, Zirkon und Thorit bevorzugen die Yttererdenfraktion, und auch im Apatit und Phosphorit ist sie verhältnismäßig günstiger vertreten als im Monazit oder im praktisch Yttererden-freien Bastnäsit.

Natürlich hängt auch hier die Entwicklung von den Hauptprodukten ab, deren Zukunft generell günstig eingeschätzt wird. Für U und Th haben die Perspektiven sich wieder gebessert: die Marktlage des Zr, das ein etwas breiteres Verwendungsspektrum besitzt, erscheint stabil, und Phosphate sind in steigendem Maße nachgefragt. Lediglich der Nb-Markt wird sich mit einem Überangebot auseinanderzusetzen haben. Hier sind indes nur Konzentrate der Ceriterden zu erwarten, für die noch lange keine Beschaffungsprobleme abzusehen sind.

II,5 TENDENZEN AUF DEM VORSTOFFSEKTOR

Noch bis in die 60-er Jahre hinein wurde das Vorstoffangebot der Seltenen Erden zum überwiegenden Teil aus kostengünstig gewinnbaren Nebenprodukten (Th-reiche Monazitkonzentrate) der Seifenlagerstätten bestritten. Gegen diese Konkurrenz kamen die eigentlichen - Th-armen - S.E.-Lagerstätten trotz hoher Gehalte und Reserven nicht zur Entfaltung. Kangankunde, Mrima Hill, Wigu Hill u.a. blieben unerschlossen, die Mountain Pass-Mine produzierte unter ihren Möglichkeiten. Nur Steenkamp's Kraal, begünstigt durch außerordentlich hohe und Th-reiche Monazitgehalte (30-75%), getragen von der hochgebrachten Thoriumnachfrage während der 50-er Jahre, vermochte über mehrere Jahre hinweg beachtliche Mengen Monazitkonzentrate ("massive monazite") zu verkaufen.

Die Situation der S.E.-Lagerstätten veränderte sich erst ab 1964. Das Interesse am Thorium war abgeflaut und wurde durch die Entwicklung eines verbesserten Rotleuchtstoffs auf Y-

und Eu-Basis für TV-Farbbildröhren von einem S.E.-Boom abgelöst. Der steigende Bedarf ließ sich von den Erzeugern der Nebenprodukte allein nicht mehr abdecken. Deren niedrige Angebotselastizität erklärt sich aus dem natürlich vorgegebenen Mengenverhältnis Nebenminerale/Hauptminerale und der daraus resultierenden ökonomischen Notwendigkeit, Änderungen in der Angebotsmenge der Kuppelprodukte primär nach den Marktanforderungen der Hauptprodukte zu bestimmen (vgl.S.119). Dennoch gelang es den Produzenten aus Seifenlagerstätten, sowohl kurzfristig - durch Liquidierung von Lagerbeständen - als auch längerfristig - durch verbesserte Ausbringung der Nebenminerale - einen Teil des Booms aufzufangen.

So hatten sich Malaysias Exporte an Monazitkonzentraten von 1965 bis 1968 verdreifacht - bei etwa gleichbleibender Zinnerzproduktion; die Ausfuhr von Xenotimkonzentraten ist von 1965 bis 1969 gar um eine Zehnerpotenz gestiegen. Diese Entwicklung hält an. Indonesien und Burma sind gleichfalls bestrebt die Produktion von Nebenmineralen zu fördern. Überhaupt wird sich durch die mit den 70-er Jahren erfolgende und z.T. schon erfolgte Erschließung neuer Monazitseifen (in Georgia, USA; bei Pulmoddai, Shri Lanka; am Cape Morgan, Südafrika) das Vorstoffaufkommen aus Lagerstätten dieses Typs weiter erhöhen.

Den größten Aufschwung erlebte jedoch die Sulfide-Queen-Mine (Mountain Pass). Weil dort mit der Molybdenum Corp.of America ein kapitalkräftiges Unternehmen tätig ist, und Bastnäsit das Hauptprodukt der Grube darstellt, vermochte sie sich konsequent den gestiegenen Anforderungen anzupassen. Die Produktionskapazität wurde 1966 gleich zweimal auf zuletzt über 20.000 t S.E.-Oxide/Jahr angehoben. Dieser speziell auf den Eu-Bedarf zugeschnittene Ausbau hatte ein Überangebot an Ceriterden zur Folge. Denn für jede Tonne Eu_2O_3 mußten rund 1.500 t Bastnäsit durchgesetzt werden, der gut 70% Ceriterden enthält. Dementsprechend erhöhte sich der Ausstoß des Unternehmens ganz außerordentlich: von 750 sht S.E.-Oxide in 1963 auf 10-14.000 t in 1966 und den Folgejahren (1971: 10.827 sht).

Das war mit ein Grund dafür, daß an den anderen, ausnahmslos Ceriterden-betonen Großlagerstätten nur wenig Interesse bestand. So ging lediglich eine kleinere (Bou Naga, Mauretania) der z.T. schon gut erkundeten Lagerstätten Afrikas ab

1968 zeitweilig in Produktion, möglicherweise nur wegen der Absatzmarktnähe und des mit 4% relativ hohen Y-Gehalts im Monazit. Aus dieser Sicht ist auch das seit Ende der 60-er Jahre bekannte Interesse der Péchiney-St.Gobain-Gruppe an Kriva Hill bemerkenswert, weil dessen Eluvium für ein karbonatitisches Vorkommen ziemlich Yttererden- und Europium-reich sein soll.

Damit ist ein Trend angesprochen: die merkliche Zunahme der Aktivitäten zur Bereitstellung Yttererden-haltiger Vorstoffe. Das erklärt sich aus der bereits angedeuteten Entwicklung der Weltvorstoffproduktion. Schlüsselt man auf, so zeigt sich, daß ab 1966 mit dem Wechsel von Monazit auf Bastnäsit als dem mengenmäßig vorherrschenden Vorstoff das ohnehin schon zugunsten der Ceriterden verlagerte Verhältnis Ceriterden/Yttererden (im Vergleich zum Krustendurchschnitt von 2:1) im Vorstoffangebot sich noch weiter verschob: von ca. 15:1 (1962) auf ca. 32:1 (1966), und sich erst jüngst wieder anzugleichen beginnt: ca. 22:1 (1970).

Auf seiten der Nachfrage fehlten die Anzeichen für eine vergleichbare Divergenz, so daß die vorstoffverarbeitende Industrie versuchte, sich eigene Yttererden-Versorgungsbasen zu sichern. So erwarb z.B. die Michigan Chemical Corp. 1966 das Euxenitvorkommen Bear Valley, und 1969 sicherte sich die Molycorp das Vorkaufsrecht für Yttererdenkonzentrate von der Old-Bed-Magnetite-Mine der Republic Steel Corp.

Somit ist ein zweiter, in einem engen Zusammenhang damit stehender Trend bereits durch Beispiele belegt worden: das auffällige Engagement der vorstoffverarbeitenden Industrie, sich vertikal durch Angliederung der vorgelagerten Bergbaustufe zu vervollständigen; ein - wie noch ausgeführt wird - in der Natur analytischer Betriebe begründet liegendes Verhalten.

Ein weiterer, gleichfalls von dem Interesse an Yttererden-vorstoffe beeinflusster Trend zeigt sich in der tendenziell zunehmenden Nebengewinnung der geringen S.E.-Gehalte aus den Mineralen Apatit, Pyrochlor, Brannerit und Davidit.

In der UdSSR spielte diese Art der S.E.-Erzeugung schon frühzeitig eine beherrschende Rolle. Bereits in den 30-er Jahren hat man dort im Zuge der Phosphatherstellung aus Apatit und der Nb/Ta- und Ti-Gewinnung aus Loparit nebenher S.E.-Konzentrate

trate im größeren Maßstab produziert (GUNDLACH (77)). Polen betreibt ebenfalls die S.E.-Gewinnung aus Apatit; Finnland ist seit 1966 dabei. Die Möglichkeiten der S.F.-Extraktion aus den sedimentären Phosphoritlagerstätten der USA werden in einer Studie aus dem Jahre 1966 (ALTSCHUIER et al.(53)) positiv beurteilt. Ferner plant die Republic Steel Corp. den relativ Yttererden-reichen Apatit ihrer Magnetitmine bei Mineville auf Seltene Erden aufzuarbeiten. Seit einigen Jahren werden aus den Laugen der Urangewinnung S.E.-Konzentrate extrahiert. Von Bedeutung ist die Herstellung von Y-Vorkonzentraten aus dem Elliot-Lake-Revier (seit 1965) - mit einer Produktionskapazität von 150 t.p.a. eine der wichtigsten einschlägigen Unternehmungen - und die Erzeugung von S.E.-Verbindungen aus den Rückständen der Daviditaufbereitungsanlage Port Pirie, deren Halden seit 1968 zum zweiten Mal überarbeitet werden.

Diese chemische Nebengewinnung wird wegen der sich ständig verbessernden verhüttungstechnischen Möglichkeiten sicher weiter an Umfang zunehmen, auch weil sie für die Hütten optimale Stoffverwertung bedeutet und weitere Minerale wie Zirkon, Fluorit, Strontianit, sedimentäre Manganerze u.a. als potentielle S.E.-Lieferanten in Betracht gezogen werden müssen.

III DIE VERARBEITUNG DER VORSTOFFE

III,1 AUFSCHLUSSVERFAHREN FÜR DIE MINERALISCHEN ROHSTOFFKONZENTRATE

III,1,1 Für Monazitkonzentrate

a. Der Säureprozeß

Das Monazitkonzentrat wird in konzentrierte Schwefelsäure nach und nach eingegeben, gewöhnlich etwa ein Teil Monazit auf 2-3 Teile Schwefelsäure. Nach 2-3 Stunden ist die stark exotherme Reaktion beendet. Das Produkt kühlt ab und wird vorsichtig mit Wasser stark verdünnt und dabei gekühlt (auf unter 30°C). Die Lösung wird filtriert, der Rückstand gewaschen und das Waschwasser mit dem Filtrat vereinigt. Es

stellt eine relativ stabile Lösung aus S.E.- und Th-Sulfaten und Phosphorsäure dar, und enthält durchschnittlich 50-60 g/l S.E.-Oxide sowie ca. 6 g/l ThO_2 .

Der Umsetzungsvorgang kann durch die folgende Reaktionsformel schematisch wiedergegeben werden:



Die weitere Behandlung des Filtrats kann unterschiedlich erfolgen. Gewöhnlich gibt man Na_2SO_4 in die Lösung (4 Mole/Mol S.E.). Nach etwa 30 min fällt ein kristalliner Niederschlag von Natrium-S.E.-Sulfat aus. Er wird abfiltriert und mit 0,3n Na_2SO_4 -Lösung gewaschen. Die Waschlösung wird nach Gebrauch verworfen.

Die Doppelsulfate werden mit einem Überschuß an NaOH eine halbe Stunde gekocht. Die entstandenen S.E.-Hydroxide werden abgefiltert und heiß (ca. 120°C) getrocknet, um das Cer in die tetravalente Form zu überführen. In den Hydroxiden ist etwa die Hälfte des Thoriums vorhanden, das Mischkristalle mit dem Natrium-S.E.-Sulfat eingegangen war. Die andere Hälfte befindet sich neben Na_2SO_4 und einem kleineren Teil schwerer S.E. als Doppelsulfate im Filtrat. Diese Lösung wird auf 90°C erhitzt und mit 15 g/l Oxalsäure versetzt. Es entsteht ein Th-S.E.-Phosphat-Oxalat.

Die Endprodukte des Säureprozesses sind nicht von hoher Reinheit, dafür hat das Verfahren den Vorzug, rasch durchführbar zu sein.

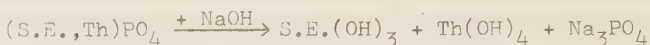
b. Der Alkaliprozeß

Das Konzentrat muß feingemahlen vorliegen. Ein eventueller Ca-Gehalt (meist als Apatit) muß vorher entfernt werden. Man kocht zu diesem Zweck das Monazitkonzentrat mit Salpeter- oder Salzsäure und entfernt die Lösung durch Filtration. Etwas durch diesen Vorgang mit extrahiertes Thorium wird bei pH 1,8 wieder ausgefällt und in den Prozeß zurückgeführt. Das Monazitkonzentrat wird mit NaOH in großen Behältern aus rostfreiem Stahl unter Erhitzen behandelt. Die Geschwindigkeit und Vollständigkeit der Reaktion hängt von dem NaOH-

Monazit-Verhältnis, der Konzentration der NaOH, der Reaktionstemperatur und von der Reinheit und Korngrößenverteilung des Monazitkonzentrats ab.

Normalerweise wird der Monazit mit 60-70%-iger NaOH bei einer Temperatur von 130-150°C drei bis vier Stunden behandelt. Das NaOH-Monazit-Verhältnis liegt 100-200% über der Stöchiometrie.

Der Monazit wird im allgemeinen fast vollständig zersetzt, wobei hauptsächlich S.E.- und Th-Hydroxid und Trinatriumphosphat im Sinne der folgenden Gleichung entstehen:



Anschließend wird mit Wasser Trinatriumphosphat in Lösung gebracht und die Hydroxide abgefiltert. Es sollte im Vakuum filtriert werden, um die Luftoxidation des Ce^{III} zu Ce^{IV} in diesem frühen Stadium des Prozesses zu verhindern. Das Filtrat wird eingeeengt, wobei Trinatriumphosphat ausgefällt und abzentrifugiert wird. Die verbleibende Natronlauge wird z.T. in den Prozeß zurückgeführt (eine vollständige Rückführung hätte eine allmähliche Anreicherung der Verunreinigungen, insbesondere des SiO_2 zur Folge). Der Filtrierrückstand wird gewaschen bis die Hydroxide phosphatfrei sind. Seine weitere Behandlung wird unterschiedlich gehandhabt.

1. Die Hydroxide werden in Salpetersäure aufgelöst und von unlöslichem Material durch Filtration befreit. Nach pH-Anhebung auf 5,6 fallen Th und U hydroxidisch aus. Dies geschieht mittels kontrollierter Zuführung von Magnesium- oder Ammoniumhydroxid. Die Niederschläge werden abzentrifugiert und mit Lösungsmittel-Extraktion von der Nitratlösung gereinigt. Die Seltenen Erden werden aus dem Filtrat als Hydroxide gefällt, abgefiltert, getrocknet und gegebenenfalls durch Kalzinierung zu Oxiden überführt.
2. Die Hydroxide werden mit Salzsäure auf pH 3-4 angesäuert, wobei die Seltenen Erden hydroxidisch in Lösung gehen und Th-Hydroxid unlöslich bleibt. Die Reaktion wird bereits unterbrochen wenn noch ein kleiner Teil der Seltenen Erden im Hydroxidbodenkörper verblieben ist, um zu unterbinden, daß Thorium in die S.E.-Lösung gelangt. Schließlich wird

in eine Thoriumfraktion und eine ziemlich reine S.E.-Chloridlösung getrennt.

c. Ein Vergleich beider Prozesse

Der Alkaliprozeß arbeitet wirtschaftlich nur bei reinen Monazitkonzentraten (98%), während für den Säureprozeß Konzentrate unterschiedlicher Qualitäten benutzt werden können, was den Unternehmen größere Flexibilität auf dem Beschaffungsmarkt einräumt. Größere Ausbeute, höhere Reinheit der Endprodukte und leicht absetzbares Trinatriumphosphat als Nebenprodukt sind die Vorzüge des Alkaliprozesses. Gegen Ende der 50-er Jahre durchgeführte Kostenvergleiche beider Verfahren ergaben leichte Vorteile für den Säureprozeß. Geht es nicht nur um die Gewinnung des Th und U, sondern zielt die Monazitaufbereitung auf die Weiterverarbeitung der Seltenen Erden ab, so erscheint das Alkaliverfahren vorteilhafter, weil es schon in einem frühen Stadium reine S.E.-Konzentrate erbringt.

III,1,2 Für Bastnäsitkonzentrat

Aus dem gemahlten Konzentrat wird nach der Flotation durch kontinuierliche Gegenstromdekantation mit Salzsäure ein Bastnäsitkonzentrat hergestellt, das zu ca. 70% aus Seltenen Erden besteht. An das folgende Aufschlußverfahren wurde insbesondere die Anforderung gestellt, daß Konzentrat selektiv zu attackieren, nur die Seltenen Erden herauszulösen. Das Bastnäsitmaterial wird allmählich bei ca. 200°C in konz. Schwefelsäure gegeben, im Verhältnis von 1,3 Teile Säure auf 1 Teil Bastnäsit. Es entwickelt sich eine stark exotherme Reaktion, in deren Verlauf die Temperatur auf etwa 480°C ansteigt und CO₂, HF und SiF₄ gasförmig entweichen. Die Reaktion läßt sich vereinfacht so formulieren:



Bei ca. 500°C wird das Reaktionsprodukt getrocknet und dann auf 900°C erhitzt, um saure Sulfate zu zersetzen und die Verunreinigungen wasserunlöslich zu machen. Das getrocknete Pro-

dukt wird in kaltem Wasser gelöst und von Rückständen freifiltriert, wobei man eine Lösung von S.E.-Sulfat in einer ungefähren Konzentration von 50 g/l S.E.-Oxide anstrebt. Aus dieser Lösung können die Seltenen Erden nach Belieben als Hydroxide oder Oxalate gefällt werden.

III,1,3 Für Xenotimkonzentrate

a. Auflösung in Säure.

Das feingemahlene Erz wird auf 170°C vorerhitzt und zu etwa 190°C heißer 93%-iger Schwefelsäure gegeben (Säure/Erz = 2). Wegen der sich entwickelnden exothermen Reaktion steigt die Temperatur auf ca. 250°C. Nach etwa 12 Stunden ist der Prozeß beendet. Die S.E.-Sulfate werden mit Wasser herausgelöst und können direkt zur weiteren Reinigung oder zur Trennung der Seltenen Erden in Ionenaustauschersäulen überführt werden.

b. Alkaliaufschluß.

Konzentrate von mehr als 90%-iger Reinheit sind erwünscht. Das Mineral wird vorsichtig bei 400°C geschmolzener Natronlauge zugesetzt im NaOH-Xenotim-Verhältnis von 1,75. Die Reaktion verläuft exotherm, und bereits nach einer Stunde kann das Produkt in flache Stahlpfannen zur Abkühlung gegossen werden. Die Reaktion schematisch:



Nach Abkühlung wird das Reaktionsprodukt mit Wasser ausgezogen, wobei das Phosphat und der Alkaliüberschuß entfernt werden. Die verbleibenden Hydroxide werden in möglichst wenig Salzsäure gelöst und von unzersetztem Xenotim und den unlöslichen Rückständen (Quarz, Silikate, Zinnstein u.a.) abfiltriert. Die Seltenen Erden können aus dem Filtrat als Oxalate oder Hydroxide gefällt werden.

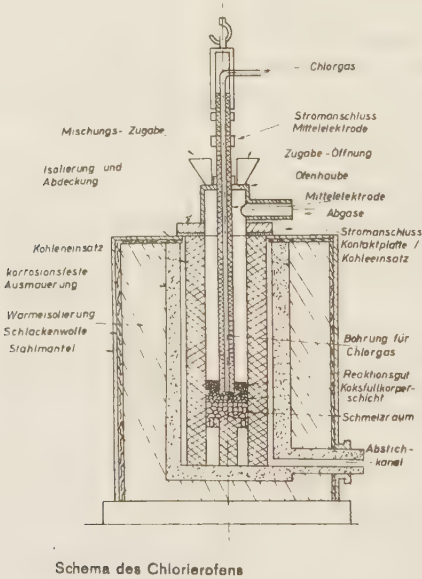
III,1,4 Die direkte Chlorierung der Erze

Die technischen Probleme des Verfahrens sind erst in jüngerer Zeit in den Labors der Th. Goldschmidt AG gelöst worden, die den Prozeß nun seit einigen Jahren mit Erfolg für die Produktion von wasserfreien S.E.-Chloriden einsetzt. Die hier kurzgefaßte Darstellung des Verfahrens ist der von BRUGGER, W. & GREINACHER, E. (139) veröffentlichten ausführlichen Beschreibung entnommen worden.

Stückerze müssen vor Eingabe gemahlen werden, flotierte oder aus Sanden stammende Konzentrate bedürfen keiner weiteren Zerkleinerung. Das Erz wird dann mit Aktivkohlepulver, einem wäßrigen Bindemittel und etwas Wasser gemischt und brikettiert. Die Formlinge werden getrocknet. Der verbliebene Feinanteil wird abgesiebt und in den Mischer zurückgeführt. Die Formlinge selbst gelangen in den Chlorierungs-ofen, wo die Erz-Kohle-Mischung mit Chlorgas bei Reaktionstemperaturen von 1000 bis 1200°C vollständig und rasch umgesetzt wird. Bei diesen hohen Temperaturen entstehen aus fast allen Verunreinigungen flüchtige Chloride, die mit den Abgasen entweichen. Zur Entfernung des Fluors (aus Bastnäsit) wird dem Gemisch Silizium, bevorzugt in Form silikatischer S.E.-Erze, beige-mengt. Neben den Seltenen Erden befinden sich nur noch die Erdalkalimetalle sowie ein Teil der Alkalien in der chloridischen Schmelze. Für Erze mit hohem Anteil dieser Verunreinigungen ist das Verfahren daher ungeeignet. Auch verbieten die Kosten für das Chlorgas den Einsatz von Erzen mit allzu hohem Bestandteil flüchtige Chloride bildender Verunreinigungen. Als Vorteile der direkten Chlorierung werden genannt:

- Das Verfahren arbeitet in gleicher Weise mit allen S.E.-Erzen.
- Die gewonnenen S.E.-Chloride sind wasserfrei und deshalb unmittelbar zur Verarbeitung auf die Metalle geeignet.
- Das Verfahren entfernt alle Verunreinigungen mit Ausnahme der Erdalkalien und eines Teils der Alkalien.
- Es arbeitet schnell und benötigt wenig Platz, da es mit höchsten Konzentrationen betrieben wird. Die spezifischen Durchsätze sind dementsprechend hoch.
- Die Lohn-, Kapital- und Energiekosten sind gering.

Abb. 36 zeigt schematisch den Aufbau des Chlorierofens, das Herzstück des Prozesses. - aus (139), S.9 -



III,2 ZUR SEPARATIONSTECHNOLOGIE

III,2,1 Gruppentrenungsverfahren

Für die Trennung der leichten von den schweren Seltenen Erden kann man sich die Eigenschaften ihrer Sulfate zunutze machen:

--sie bilden mit Alkalisulfaten Doppelsalze, die bei Alkalisulfat-Überschuß ausfallen, aus einer kalten Lösung die leichten vor den schweren S.E. Mit Hilfe spektrophotometrischer Kontrollen kann die Reaktion an geeigneter Stelle unterbrochen werden, so daß eine Trennung in eine reine Fraktion der leichten S.E. und eine (mit den leichten S.E.) verunreinigte Fraktion der Vttererden sich vollziehen läßt.

--Die S.E.-Sulfate haben einen negativen Temperaturkoeffizienten der Löslichkeit. Erhitzt man eine gesättigte S.E.-Sulfatlösung, so kristallisieren vorweg die Ceriterden aus und können durch Filtration separiert werden.

Beide Techniken erzielen keine reine Trennung, sind jedoch rasch durchführbar und finden heute noch weitgehend Anwendung, insbesondere als Vorstufe für die feineren Trennverfahren.

III,2,2 Trennung durch Ladungsänderung

a. Separierung des Cer.

Cer vermag in wäßriger Lösung ein stabiles vierwertiges Ion zu bilden, dessen besondere Eigenschaften zur Trennung herangezogen werden können.

So weist $\text{Ce}(\text{OH})_4$ ein bedeutend geringeres Löslichkeitsprodukt als die Hydroxide der anderen S.E. auf. Man nutzt das, indem man als Hydroxide gefällte S.E. bei ca. $100-150^\circ\text{C}$ an der Luft trocknet, wobei Ce^{III} zu Ce^{IV} oxidiert wird. Dieses ist nicht säurelöslich wie die anderen S.E., die daher mit Salpetersäure extrahiert werden können, wobei relativ reines $\text{Ce}(\text{OH})_4$ zurückbleibt.

In umgekehrter Weise kann man in S.E.-Lösungen Ce^{III} mit Permanganaten, Bromaten oder anderen starken Oxydationsmitteln zu Ce^{IV} umwandeln, wodurch basische Ce^{IV} -Salze ausfallen und durch Filtration isoliert werden können. Die Reinigung des Cer-Produkts erfolgt durch Auflösung und erneute Fällung, meist hydrolytisch als Hydroxid, das mittels Kalzinierung in CeO_2 überführt werden kann.

b. Separierung des Europiums.

Eu^{2+} ist in wäßriger Lösung leidlich stabil und als Sulfat nur geringfügig löslich. Es ist isomorph mit BaSO_4 . Reduziert man wäßrige Lösungen der S.E. mit Zink und gibt kontrolliert Sulfat hinzu, so fällt Eu^{II} -Sulfat aus, das abgefiltert werden kann. Bei niedriggradigem Ausgangsmaterial ist es angeraten, BaSO_4 mitzufällen, um die Europiumausbeute zu erhöhen (ca. 80% des Eu sind auf diese Weise aus Konzentraten mit nur 0,1% Eu separiert worden).

Aus den Präzipitaten kann Europium mit Hilfe von Oxydationsmitteln herausgelöst und rein als Dichlorid in kaltgesättigter Salzsäure gefällt werden.

III,2,3 Amalgam Extraktion

Sowohl Europium als auch Samarium können quantitativ kontinuierlich aus einer Lösung der Ceriterden ausgezogen werden, wenn die gepufferte Lösung im Gegenstromverfahren mit NaHg umgesetzt und das entstandene S.E.-Amalgam in gleicher Weise mit heißer Säure (80°C, 4-n HCl oder 10-n Essigsäure) behandelt wird. Etwa 80-90% der S.E. lassen sich so bereits im ersten Durchgang umsetzen.

Ytterbium kann auf die gleiche Art von den schweren S.E. abgetrennt werden.

Die Reaktionen sind stark abhängig vom pH-Wert der Lösungen und von den ursprünglichen Gehalten der abtrennbaren S.E.

III,2,4 Fraktionierte Fällung und fraktionierte Kristallisation

Das sind die klassischen Trennverfahren der Seltenen Erden, die von der einschlägigen Industrie bis zur hochreinen Darstellung der einzelnen S.E. perfektioniert wurden. Sie machen sich die - meist geringen - Unterschiede in der Löslichkeit der S.E. in bestimmten Lösungsmitteln zunutze.

Eine saubere Auftrennung erhält man nur durch stetig zu wiederholendes Auskristallisieren bzw. Fällen, Abfiltrieren und Auflösen. So separiert man La, Pr und Nd von den anderen als Doppelmagnesiumnitratfällung. La kann auch als Doppelammoniumnitratniederschlag abgetrennt werden. Eine Kombination beider Wege ist ebenfalls erfolgreich praktiziert worden.

Die fraktionierte Kristallisation aus sulfatischen Lösungen führte zu effektiven Gruppentrennungen bei der Euxenitverwertung. Auch die Fällung als Doppelnickelnitratkristalle erlaubt eine rasche Trennung der Ytter- von den Ceriterden.

Beide Verfahren finden auch heute noch - trotz des Ionenaustauschverfahrens und der Solvent-Extraktion - weitgehende

industrielle Anwendung, meist als Vorstufen für die weiterführenden Techniken oder für die Gewinnung einiger bestimmter S.E. in kleinen Mengen. Besondere Wertschätzung genießt dabei die fraktionierte Fällung zur Separierung des La und zur Trennung der schweren von den leichten S.E. Die gebräuchlichsten Methoden dafür sind:

- die Fällung des La mit wäßriger Ammoniumlösung aus Nitrat- oder Chloridlösungen bei höheren Temperaturen für bessere Filtrierbarkeit des Niederschlags ungeachtet der erniedrigten Ausbeute. Die Filtrierbedingungen können auch durch Zusatz von etwas Azetat in das Fällungssagens wesentlich verbessert werden, dann jedoch auf Kosten der Reinheit des La-Niederschlags.
- Die Fällung als Doppelsulfate. Sie eignet sich für eine rasche Gruppentrennung Ceriterden-Yttererden.
- Die Fällung als Doppelchromate aus chloridischer Lösung. Sie führt zur Reindarstellung des Yttriums, das praktisch frei von allen Cer- und Terbiumerden dargestellt werden kann.

III,2,5 Ionenaustauschverfahren

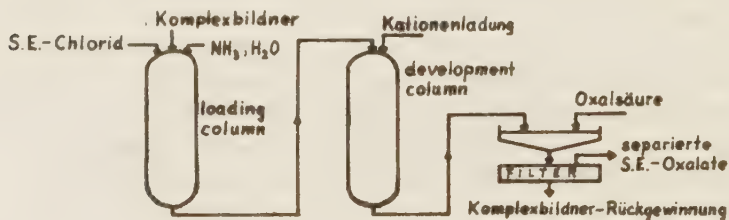
Diese Technik baut auf die unterschiedlichen Affinitäten von Kationen zu Austauscherharzen und gelösten Komplexbildnern auf. Im Minimalfall werden zwei Austauschersäulen unterschiedlicher Funktion hintereinandergeschaltet (loading column, development column; vgl. Abb.37). Die erste wird mit einer Lösung des S.E.-Gemischs (meist in chloridischer Form) aufgeladen, während die zweite mit Kationen beschickt wird, die eine größere Affinität zur Lösung des Komplexbildners zeigen als die Seltenen Erden. In die erste Säule wird die verdünnte Lösung mit dem Komplexbildner eingegeben, der die Seltenen Erden dem Austauscher entzieht. Dabei geschieht bereits eine Separierung, weil die Tendenz der S.E., in den Komplex einzutreten, mit ihrer Ordnungszahl steigt (die Position des Y ist vom Komplexbildner abhängig und kann sich zwischen Nd und Dy einstellen).

Die Lösung des nun S.E.-haltigen Komplexes wird zur schärfe-

ren Trennung in die zweite Austauschersäule geleitet, wo die leichteren S.E. zuerst den Komplex verlassen und im Austausch gegen die ursprüngliche Kationenladung der Säule sich an das Austauscherharz binden. Nacheinander werden schließlich alle S.E. von der Kationenladung der "development column" aus dem Komplex verdrängt.

Das Ende des mehrfach zu wiederholenden Prozesses wäre eine lagenweise voll mit den einzelnen S.E. - das leichteste (Ia) oben, Lu unten - besetzte Säule, aus der sie selektiv herausgelöst und nach Wunsch (meist als Oxalate) gefällt werden können.

Abb.37: Schematische Skizze des Ionenaustauschverfahrens.



Gebräuchliche Kombinationen von Komplexbildner und Kationenladung sind:

Komplexbildner	Kationenladung der "development column"
Pufferlösung Zitronensäure/ Triammoniumzitrat (0,005-molar)	H^+
HEEDTA* (0,025-molar)	H^+
EDTA** (0,015-molar)	$Fe^{3+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}$
EDTA (0,05-molar mit NH_4^+)	

Trotz der notwendigerweise sehr langen Durchlaufzeiten (ca. 1 cm/min) der Lösungen*** hat das Ionenaustauschverfahren

* aus dem Englischen: β -hydroxyethylethylenediaminetriacetic acid

** aus dem Englischen: ethylenediaminetetraacetic acid

*** Um hohe Reinheit zu erzielen, muß gewährleistet sein, daß die Austauschvorgänge lückenlos die gesamte Säule erfassen. Daher darf ihr Querschnitt nicht zu groß sein, so daß für die kommerzielle Produktion sehr hohe Säulen verwandt werden müssen; auch eignen sich nur Harze geringster Partikelgröße.

weite Verbreitung gefunden, da es hochreine Produkte erzielt und apparativ relativ einfach zu handhaben ist.

(Das Ionenaustauschverfahren der Michigan Chemical Corp. wird auf S.150 kurz umrissen).

III,2,6 Lösungsmittlextraktion (Flüssig-flüssig-E., Solventverfahren)

Das Verfahren beruht auf der unterschiedlichen Adduktbildungstendenz der einzelnen Seltenen Erden zu organischen Komplexen bei Einhaltung bestimmter Bedingungen. Unter der Vielzahl der bekannt gewordenen Systeme werden drei sehr häufig genannt:

- a. Organische Phase: Tri-n-Butylphosphat (TBP)
Wäßrige Phase: Neutrale S.E.-Nitrate

Dieses System wird bevorzugt für die Auftrennung der Ceriterden verwandt. TBP fällt die S.E.-Nitrate als $S.E.(NO_3)_3 \cdot 3 \text{ TBP}$ -Komplex. Die Seltenen Erden sammeln sich jedoch nicht gleichmäßig in der komplexen organischen Phase, sondern ihr Präsenzgrad zeigt eine proportional zur Ordnungszahl verlaufende Tendenz, indem das ursprüngliche Verhältnis benachbarter Elemente sich zugunsten eines der beiden verändert. Der Trennungsfaktor (das Verhältnis der Verschiebung) gibt das Maß für die Verschiebung an. Für das hier behandelte System liegt er zwischen 1,5 und 2,0. Der Wert hängt direkt vom Sättigungsgrad der organischen Phase ab. Gute Sättigung und damit einen relativ guten Trennungsfaktor erzielt man mit konzentrierten S.E.-Nitratlösungen oder durch Zugabe von Ca- oder Al-Nitraten in das System.

Der genannte Trennungsfaktor ist zwar gering, reicht jedoch bei Verwendung des Gegenstromverfahrens aus, die leichten S.E. rein voneinander zu trennen.

- b. Organische Phase: TBP
Wäßrige Phase: S.E.-Nitrate mit Salpetersäure

In diesem System gehen die S.E. bei Verwendung hochkonzentrierter Salpetersäure (14-18 n) mit einem Trennungsfaktor von 2,0-2,5 in die komplexe organische Phase über.

Dieses Verfahren findet insbesondere Anwendung in der Her-

stellung von Gd-Konzentraten. Zu diesem Zweck wird das S.E.-Material in 14-n Salpetersäure aufgelöst und dann im Gegenstrom mit TBP das Gadolinium extrahiert, wobei Reinheiten von $>95\% \text{ Gd}_2\text{O}_3$ erreicht werden.

- c. Organische Phase: Di-(2-Äthylhexyl)Hydrogenphosphat.
Wäßrige Phase: 0,05-m HCl und 0,01-m Cr^{II} -Lösung

Das System ist zur Abtrennung des Europiums eingeführt worden. Trennungsfaktoren in der Größenordnung von 10^5 bis 10^6 werden damit erreicht. Diese außerordentlich hohen Werte weisen auf die Entstehung des Eu^{II} während des Umsetzungsvorganges hin, das weitaus zurückhaltender in die organische Phase wechselt als die trivalenten S.E.

Man geht von einer wäßrigen Lösung der S.E. mit ca. 0,1% Eu_2O_3 aus und extrahiert diese mit einer 1,6-m Lösung des genannten Komplexbildners, um eine etwa 0,1-m Lösung der trivalenten S.E. in der organischen Phase herzustellen. Diese Phase wird dann mehrfach mit einer wäßrigen Lösung von 0,5 g/l Zinkamalgam in 0,05-m HCl mit 0,01-m Cr^{2+} (zur Reduktion des Eu^{III}) extrahiert. Daraus erhält man nach Abschluß des Vorganges ca. 90% des ursprünglichen Europiums in hochreiner Form.

d. Nachwort

Alle Flüssig-flüssig-Verfahren sind chemisch sehr aufwendig, weil ihr Erfolg insbesondere von der Einhaltung exakter Konzentrationsbedingungen abhängt. Auch kann erheblicher apparativer Aufwand vonnöten sein, da für jeden Behandlungsschritt eine Misch- und absetzeinheit vorgerichtet sein muß. Ein Vorteil dieser Technik gegenüber dem Ionenaustausch liegt darin, daß größere Mengen schneller einen Durchgang durchlaufen können. Die erzielten Reinheitsgrade können an jene der Ionenaustauschverfahren heranreichen.

III,3 DIE DARSTELLUNG DER METALLE

III,3,1 Metallthermische Prozesse

a. Reduktion mit Calcium

Man geht gewöhnlich von den rein separierten Oxiden aus. Sie werden gut mit leicht überschüssigem Ammoniumbifluorid gemischt und auf etwa 300-400°C bis zu 12 Stunden erhitzt, wobei sich Fluoride der S.E. mit über 90%-iger Reinheit im Sinne der folgenden Gleichung bilden:



Durch nochmaliges Fluorieren kann die Reinheit auf über 99% gesteigert werden. Das S.E.-Fluorid wird anschließend mit metallischem Calcium vermengt und in einem Tantaltiegel auf 1000-1600°C erhitzt. Bei diesen hohen Temperaturen werden die S.E.-Fluoride vom Ca zum reinen Metall reduziert:



Beide Phasen, das S.E.-Metall wie das CaF_2 , sind bei diesen Temperaturen schmelzflüssig aber nicht ineinander löslich. Das schwere S.E.-Metall sammelt sich im Regulus, die Schlackeschicht kann abgegossen werden. Im Vakuum wird das überschüssige Ca aus der Metallschmelze abgedampft. Nicht abdampfbare Verunreinigungen - Ta (bis zu 5% kann aus dem Tiegel übernommen werden), Mo, W - werden durch Schmelzflußelektrolyse entfernt.

b. Reduktion mit Lanthan

Die Fluoride von Sm, Eu und Yb sind nicht mit Ca reduzierbar. Zu ihrer Darstellung kann man die Oxide mit metallischem Lanthan mischen. Nach Erhitzen auf etwa 1000°C reduziert das Lanthan die genannten Oxide zu Metallen, die verdampfen und in einer Auffangeinrichtung rein sublimieren:



III,3,2 Schmelzflußelektrolyse

Die metallothermische Herstellung der Metalle wird hauptsächlich für Y und Sc durchgeführt. Die anderen S.E. werden überwiegend mittels Schmelzflußelektrolyse gewonnen, auch ihre wichtigsten Legierungen (z.B. Mischmetalle und Didymium).

Als Ausgangsmaterial werden wasserfreie Oxide oder Halogenide benötigt. Da insbesondere die Halogenide oft noch naßchemisch hergestellt werden, liegen sie in hydratisierter Form vor (mit ca. 30% H_2O). Zur Erzeugung wasserfreier Verbindungen kann man unterschiedlich vorgehen. Gewöhnlich entwässert man die Halogenide im HCl -Gasstrom oder erhitzt sie unter Zugabe hygroskopischer Salze oder im Vakuum - was bessere Ausbeute garantiert - auf einige hundert Grad.

Die durch direkte Chlorierung hergestellten S.E.-Chloride sind wasserfrei und können unmittelbar der Schmelzflußelektrolyse unterzogen werden.

Zur Darstellung des Cers kann Ce_2O_3 anstatt CeO_2 eingegeben werden, was die Ausbeute wesentlich erhöht. SHEDD et al. (165) haben ein Verfahren entwickelt, das mit feinpulvrigem Graphit in einem Graphitreaktionsgefäß bei inerten Heliumatmosphäre und unter Erhitzen auf $1250^{\circ}C$ nach mehrstündiger Reaktion ca. 90% des CeO_2 zu Ce_2O_3 reduziert.

Der elektrolytische Prozeß zur Herstellung der Metalle erfolgt in Reduktionszellen bei Arbeitstemperaturen von $800-900^{\circ}C$. Der S.E.-Elektrolyt wird mit bestimmten Salzen ($NaCl$, KCl , BaF_2 , LiF u.a.) gemischt. Er muß bei Eingabe gemischter S.E. hin und wieder erneuert werden, da sich im Laufe des Prozesses die nicht reduzierbaren S.E. (Sm, Eu, Yb) im Elektrolyt anreichern.

Drei Zellentypen zeigen die Abbildungen der folgenden Seite. Als Zellmaterial sind keramische Werkstoffe oder Graphit (um SiO_2 -Aufnahme zu verhindern) im Gebrauch. Dort, wo eine Verunreinigung der Metalle mit Eisen in Kauf genommen werden kann (z.B. bei der Produktion von Mischmetall für Zündsteinlegierungen) sind auch Reduktionszellen aus Eisen eingeführt.

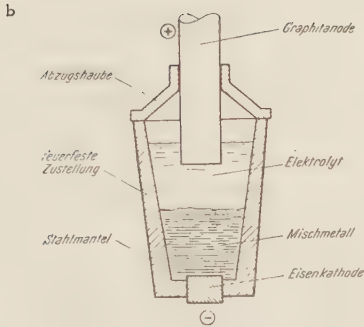
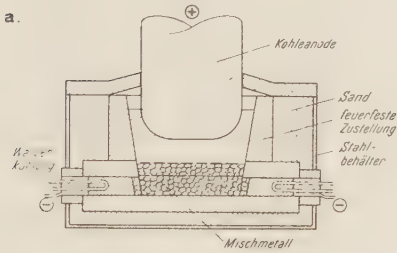


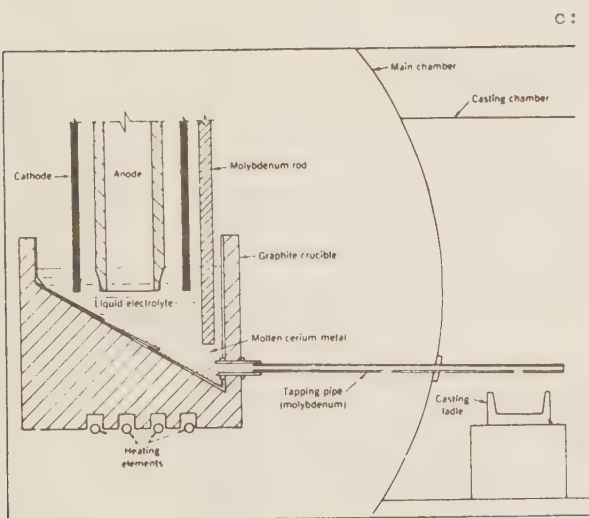
Abb. 38:

Drei Reduktions-
zellentypen.

(a & b aus (271), S. 191
c aus (147), S. 20)



a & b: Elektrolyse-
zellen zur
Abscheidung
von Mischmetall



Zelle "c" arbeitet als einzige in einer inerten Heliumatmosphäre. Aus solchen Zellen sind versuchsweise hochreine Metalle (99,9%) der S.E. (Ce,La,Y) in halbkommerziellen Quantitäten und mit Ausbeuten zwischen 75 und 96% erschmolzen worden.

Die wichtigsten Betriebswerte der abgebildeten Elektrolysezellen gibt Tab.17:

Tab.17: Betriebswerte der in Abb.38 dargestellten drei Elektrolysezellen.

	a.	b.	c.
Zelltyp	Keramik	Keramik	Graphit
Anode	Kohle	Graphit	Graphit
Kathode	Eisen	Eisen	Wolfram
Elektrolyt	-(S.E.)Cl ₃ /NaCl-		CeF ₃ /BaF ₂ /LiF
durchschnittl.Badtemperatur .	850°C	850°C	850°C
Zellatmosphäre(o.Zellgase). .	Luft	Luft	Helium
Stromstärke	2300 A	2300 A	2300 A
Spannungsabfall an der Zelle.	14 V	12 V	8,5 V
Energiebedarf (kWh/lb). . . .	7,1	6,2	2,5
Stromausbeute	45%	50%	96%
(S.E.)Cl ₃ /Metall-Verhältnis .	2,3	2,8	-
Metallmenge (in lb)/Stunde. .	4,1	2,9	2,8

III,4 DIE GRUNDSTOFFPRODUZENTEN

III,4,1 Zur Einführung

Hier werden über 50 Unternehmen aufgeführt, die Grundstoffe der S.E. herstellen und in den Handel bringen. Die Aufstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, dürfte jedoch den größten Teil insbesondere der bedeutenderen Unternehmen erfassen. Für die Kurzcharakteristik der Unternehmen wurde versucht, Informationen aus der Literatur und aus schriftlichen Direktanfragen zu den folgenden sieben Punkten zu sammeln:

	Die in der Aufstellung verwendeten Abkürzungen
- Bezeichnung und Anschrift der Firma	N (<u>N</u> ame)
- Die an der Firma beteiligten Unternehmen	B
- Standort ihrer Betriebe	S
- Die Rohstoffbasis	R
- Die verwendeten technologischen Verfahren	T
- Das Angebot (Produkte und Handelsformen)	A
- Wichtige Verbindungen und Vereinbarungen	V

Obwohl die Recherchen nur z.T. befriedigende Ergebnisse zeitigten, sind doch wesentliche Züge der Angebotsstruktur des Grundstoffsektors erkennbar geworden. Zunächst ist hervorzuheben, daß die Firmen nur zum kleineren Teil unmittelbar miteinander konkurrieren, weil die Zusammensetzung ihres Angebots oft erhebliche Unterschiede aufweist.

Ferner hat sich gezeigt, daß für die kommerziell wichtigen Güter eine oligopolistische Angebotsstruktur besteht, vielleicht mit Ausnahme für das hochreine Eu_2O_3 , für das die Molycorp eine vergleichsweise hohe Produktionskapazität besitzt, so daß hier ein Angebotsmonopol angenommen werden muß.

Teilt man die Grundstoffe nach Veredelungsstufen grob ein, so lassen sich die folgenden Klassen bilden und in eine Rangfolge stellen:

1. ungetrennte Verbindungen der S.E.
2. ungetrennte Metalle (Legierungen der S.E.)
3. partiell getrennte Verbindungen
4. partiell getrennte Metalle (Legierungen)
5. getrennte reine Verbindungen
6. separierte reine Metalle, Halbzeug

Die meisten Kleinbetriebe arbeiten in den Bereichen 4 und 5, wo sie oft in spezielle und eng begrenzte Marktlücken vorstoßen und auf die Befriedigung des Forschungsbedarfs abzielen, während die führenden Unternehmen den gesamten Produktfächer anzubieten bestrebt sind, gemeinhin mit Ausnahme des Bereichs 1. Dort stehen nur diejenigen Unternehmen im Wettbewerb, die auf eigene Rohstoffvorkommen aufbauen. Es handelt sich dabei ausnahmslos um Unternehmen, die mit dem Bergbaubetrieb begannen und darauf mit unterschiedlicher Intensität die Vorwärtsintegration betrieben.

Die folgende Tabelle vermittelt einen Eindruck davon, in welchen Sparten die Firmen tätig sind. Die Nummerierung der Arbeitsbereiche entspricht der weiter oben genannten Rangfolge nach Veredelungsstufen. Die Signaturen bedeuten:



Das Unternehmen gehört zu den großen Anbietern für die meisten kommerziellen Produkte des Bereichs

Das Unternehmen gehört nur bei wenigen kommerziellen Produkten des Bereichs zu den großen Anbietern

Produkte aus diesem Bereich gehören zum Angebot des Unternehmens

Im Anschluß an die Tabelle wird die Kurzcharakteristik der in alphabetischer Reihenfolge aufgenommenen Firmen wiedergegeben.

Tab.18: Gliederung des Angebots der Grundstoffproduzenten nach Veredelungsstufen und Bedeutung.

Firma	Veredelungsstufen gem.S.141					
	1	2	3	4	5	6
Alfa Inorganics						
American Metallurgical Products						
American Potash & Chemical Corp.						
American Scandium Corp.						
Associated Minerals Consolidated						
Atomergic Chemetals Co.						
Berk Ltd.						
Blackwell's Metallurgical Works						
British Flint & Cerium ...						
British Rare Earths Ltd.						

Firma - Tab.18 (Forts.) -	1	2	3	4	5	6
British Unicorn Ltd.						
Dresser Products Inc.						
Etablissement Tricot						
Field Metals & Chemicals Pty.Ltd.						
Th.Goldschmidt AG						
Goodfellow Metals Ltd.						
W.R.Grace & Co.						
Grace Minerals S.A.						
Inarema						
Indian Rare Earths Ltd.						
Industrias Quimicas Reunidas						
Johnson-Matthey & Co.						
King Products Inc.						
Koch-Light Laboratories Ltd.						
London & Scandinavian Metallurg.						
Lunex Company						
Metallgesellschaft AG						
Michigan Chemical Corp.						
Molybdenum Corp.of America						
Nippon Yttrium Company						
Ogino Chemical Company						
Otavi Minen- u. Eisenbahnges.						
Péchiney-Ugine Kuhlmann						
Potter & Clarke Ltd.						
Rare Earth Products Ltd.						
Research Chemicals Corp.						
Ronson Metals Corp.						
Santoku Metal Industry Co.						
Semi-Alloys Inc.						
Semi-Elements Inc.						
Shin-Etsu Chemical Industry Co.						
Thorium Ltd.						
Transelco Inc.						
Treibacher Chemische Werke AG						
Typpi Oy						
Vitro Laboratories						

Die Firmen im einzelnen:

N: ALFA INORGANICS (USA)

S: Beverly, Massachusetts

A: hochreine Skandiumverbindungen

N: AMERICAN METALLURGICAL PRODUCTS CO., INCORP. (USA)

9800 McKnight Road
Pittsburgh, Pa.

B: unabhängig

S: New Castle, Pa.

R: Monazit und Cerchlorid

A: Metalle der Ceriterden, wichtiger Mischmetallproduzent

N: AMERICAN POTASH & CHEMICAL CORP. (USA)

Rare Earth (Lindsay) Division

258 Ann Street
West Chicago
Illinois 60.185

B: Seit 1967 zur Kerr-McGee Corp. gehörend

S: West Chicago, Ill.

R: Monazit, auch Bastnäsit und Yttriumvorkonzentrate

T: Zum Aufschluß der Erze wird der Schwefelsäureprozeß verwendet.

Die sulfatisch gelösten Yttererden werden mittels Ionenaustausch separiert.

Die als Doppelsulfate gefällten Ceriterden werden gewöhnlich mit NaOH zu Hydroxiden überführt. Sie dienen als Ausgangsbasis für die Herstellung der ungetrennten Chloride, Fluoride, Oxide und Metalle.

Für die Auftrennung der Ceriterden werden ihre Hydroxide in Salz- oder Salpetersäure gelöst und nach ihrer Basisität gefällt. Bei pH 3-4 fällt z.B. Cerhydroxid mit 95%-iger Reinheit an. Zur Herstellung höherer Reinheiten müssen die Zwischenprodukte Ionenaustausch- oder Flüssig flüssig-Verfahren, die je nach Anforderungen einzeln oder miteinander kombiniert eingesetzt werden, durchlaufen.

A: Stellt Metalle und Legierungen, ungetrennte und getrennte Oxide und andere Verbindungen der S.E. bis zu hochreiner Form her (min. 99,9%).

Die Produktionskapazität für 99,9%-iges Y_2O_3 betrug 1967 150.000 lb.p.a.

Umsatz der S.E.-Abteilung 1966: \$ 5,5 Mio.

N: AMERICAN SCANDIUM CORP., (USA)

S: Newton Station, Cincinnati, Ohio

R: Rückstände aus der Urangewinnung

A: Skandium hochrein als Metall und Oxid

N: ASSOCIATED MINERALS CONSOLIDATED, LTD. (Austral.)

E: Consolidated Goldfields (Australia) Pty. Ltd.

S: Konzentrationsanlagen für Schwermineralsande:

- Southport (Queensland)
- Kingscliff (NSW)
- Byron Bay (NSW)
- Diamond Head (NSW)

Chemische Aufbereitungsanlage: Southport (Queensld.)

R: Monazitsandkonzentrate eigener Produktion

A: Ceroxid (Polierpulver)

N: ATOMERGIC CHEMETALS COMPANY, (USA)
Division of Gallard-Schlesinger Chemical
Manufacturing Corporation

S: Carle Place, L.I., New York

R: Sc_2O_3 und andere Sc-Rohstoffe

A: Sc-Metall und Sc-Salze, hochreines Y_2O_3

N: BERK LTD., (U.K.)

S: London

A: Salze der S.E.

N: BLACKWELL'S METALLURGICAL WORKS LTD., (U.K.)

S: Garston, Liverpool

A: Mischmetall, Cer und Cersalze, ungetrennte Verbindungen der S.E.

N: BRITISH FLINT & CERIUM MANUFACTURERS LTD., (U.K.)

36 St. James Street
London S.W.I.

B: Spark Holdings Ltd.

S: Tonbridge, Kent

R: Monazit, Cerchlorid

A: Mischmetall und Zündsteine

- N: BRITISH RARE EARTHS LTD., (U.K.)
51 River Road
Barking, Essex
- B: W.J.Reynolds (Holdings) Ltd.
- S: Barking, Essex
- R: Monazit, Xenotim und andere Y-haltige Konzentrate
- A: Ceroxid (Polierpulver), getrennte und ungetrennte Verbindungen der S.E.
-
- N: BRITISH UNICORN LTD., (U.K.)
- S: London
- A: Mischmetall, Cer (Salze und metallisch) und andere Metalle und Verbindungen der S.E.
-
- N: DRESSER PRODUCTS INC., (USA)
- S: Great Barrington, Mass.
- R: u.a. hochreine S.E.-Materialien von der MCC, Sc-Rohstoffe
- A: hochreine Metalle und Legierungen auch als Folien, Verbindungen der S.E., hochreine Sc-Produkte, Cermets
Zahlen zur Produktion hochreiner S.E.-Metalle:
- | | |
|------|-------------------------------|
| 1962 | 5 lb (insbesondere Y und Gd) |
| 1963 | 3 kg (besonders Y, Gd und Dy) |
| 1964 | 6 kg |
| 1965 | ca. 20 kg |
-
- N: ETABLISSEMENT TRICOT, (Frankr.)
- B: unabhängig
- S: Pargny-sur-Saulx, Marne
- R: Monazit
- A: Mischmetall, Zündsteine
-
- N: FIELD METALS & CHEMICALS PTY. LTD., (Austral.)
- B: Gründung der Field Group Research Pty.Ltd. und Australian Ceramic Industries Pty.Ltd.
- S: Port Pirie
- R: Abraumhalden aus der Daviditaufbereitung (70 acres), die noch 30 ppm Sc enthalten sollen; Monazitsandkonzentrate australischer Herkunft
- T: Flüssig-flüssig-Extraktion
- A: Y-Verbindungen, CeO_2 , La_2O_3 , ungetrennte Verbindungen der S.E., Sc-Salze

N: GESELLSCHAFT FÜR ELEKTROMETALLURGIE MBH, (BRD)

4 Düsseldorf
Grafenberger Allee 56

A: Metalle der S.E.

N: Th. GOLDSCHMIDT AG, (BRD)

43 Essen
Goldschmidtstr. 100

B: Farbenfabriken Bayer

S: Essen

R: Bastnäsit, Monazit u.a. S.E.-Konzentrate

T: Als Aufschlußverfahren wird die direkte Chlorierung benutzt. Die Metallerstellung geschieht hauptsächlich durch Schmelzflußelektrolyse.

A: Mischmetall (99,5%), Cer (99,5%), Lanthan (99,5 und 85-90%), Didymium (97-98%); insbesondere metallurgisch wichtige Verbindungen der S.E. sowie hochreines Eu_2O_3 und Y_2O_3 .

V: Es besteht eine Verbindung zur Ronson Metals Corp., die Produkte der Firma in den USA vertreibt.

N: GOODFELLOW METALS LTD., (U.K.)

S: London

A: Metalle der S.E. als Folien (0,00025 bis 0,15 mm) und Drähte (0,01 bis 1 mm); Reinheitsgrade: 99,0-99,999%

N: W.R. GRACE & CO., (USA)

Davison Chemical Div.

101 North Charles St. auch: 4060 N.Hawthorne St.
Dept.1, Baltimore 3 Chattanooga
Maryland 21203 Tenn. 27406

B: unabhängig

S: 1. Pompton Plains, N.J.
2. Chattanooga, Tenn.
3. Erwin, Tenn.
4. Curtis Bay, Baltimore

R: Bastnäsit von Mountain Pass, Monazit

T: Als Aufschlußverfahren wird der Schwefelsäureprozeß bevorzugt. Die Reindarstellung erfolgt durch Ionenaustausch.

A: Mischmetall, evtl auch hochreine Metalle; Polierpulver und Bogenlampenkohlen (Pompton Plains); hochreine Oxide und andre Verbindungen der S.E. (Chattanooga); Kernbrennstoffe (Erwin).
Das Unternehmen gehört zu den vier größten S.E.-Hütten der USA.

N: GRACE MINERALS S.A., (Schweiz)

CH-1203 Genf
20 Avenue Ernest Pictet

A: Cer-Mischmetall

N: Dr.Franz GROSSMANN K.G., (BRD)

S: Bremen

A: Metalle der S.E.

N: INAREMA, (Bras.)

B: gehört zur Monazite e Ilmenite do Brasil

S: Hütte bei Guarapari

R: Monazitsandkonzentrate ganz oder z.T. eigener Produktion.

T: Schwefelsäureaufschluß

A: ungetrennte Sulfate der S.E.

N: INDIAN RARE EARTHS LTD. (IRE), (Indien)

Pil Court
111 Maharshi Karve Road
Bombay-20 (BR)

B: IRE ist ein staatliches Unternehmen.

S: 1. Quilon (Herstellung von Schwermineralkonzentraten)
2. Alwaye, Travancore (S.E.-Hütte)
3. Trombay (Thorium-Werk)

R: Indische Monazitsandkonzentrate überwiegend eigener Produktion.

T: Der Monazit wird mit dem Alkaliprozeß aufgeschlossen.

A: ungetrenntes S.E.-Chlorid(Cerchlorid).
Produktion 1967: 4320 t
1968: 4600 t

V: Der Europahandel der IRE wird von der Mineral AG Schwyz (Schweiz) durchgeführt.

N: INDUSTRIAS QUIMICAS REUNIDAS (ORQUIMA), (Bras.)

B: Die S.E.-Abteilung wird vom Comissao Nacional de Energia Nuclear (CNEN) kontrolliert.

S: Sao Paulo

R: Brasilianische Monazitsandkonzentrate

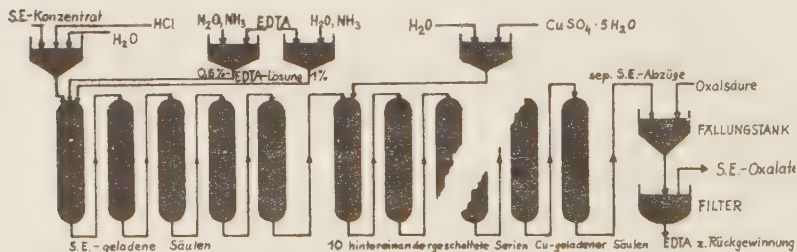
T: Der Monazit wird mit dem Alkaliprozeß aufgeschlossen.

A: Cerchlorid; Produktion 1964: 2450 t
1965: ca. 150 t/Monat

- N: JOHNSON-MATTHEY & CO., (U.K.)
73-83 Matton-Garden
London, E.C.1
- S: Laboratorien in London
- A: Hochreine S.E.-Produkte, Metalle, Oxide und andere Verbindungen.
- V: Zu 50% an der Rare Earth Products Ltd. beteiligt.
-
- N: KING PRODUCTS, INC., (USA)
S: Arlington, N.J.
A: Hochreine Skandiumprodukte
-
- N: KOCH-LIGHT LABORATORIES LTD., (U.K.)
S: Buckinghamshire
- A: hochreines Sc_2O_3 (99,999%) und andere S.E.-Verbindungen; im Vakuum geschmolzenes Yttrium, als Folien (0,25 und 0,025 mm), Barren, Pulver, Schwamm, Draht und Hydrogen-salze; Cer metallisch (99%) in Form von Blöcken, Draht, Folien, Späne und Pulver.
-
- N: LONDON & SCANDINAVIAN METALLURGICAL CO.LTD., (U.K.)
39 Wimbledon Hill Road
London S.W.19
- B: gehört zur Metallurg, Inc.
- S: Rotherham, Yorkshire
- R: Bastnäsit
- A: Ceroxid (Polierpulver), metallurgisch wichtige Produkte (S.E.-Silizide)
-
- N: LUNEX COMPANY, (USA)
S: Pleasant Valley, Iowa
- A: Hochreine S.E.-Metalle; Produktion 1967:
37 lb Y, 24 lb La, 21 lb Gd, 12 lb Er u.a.
-
- N: METALLGESELLSCHAFT AG, (BRD)
Technische Abteilung
6 Frankfurt a.M. 1
Postfach 2609
- A: Offeriert Cer-Mischmetall und Europium-Produkte.

- 1.: MICHIGAN CHEMICAL CORPORATION (MCC), (USA)
2 North Riverside Plaza
Chicago
Illinois 60606
- 2.: Gehört zur Northwest Industries, Inc. durch die Chicago North Western Railway.
- 3.: Saint Louis, Michigan.
- 4.: Monazit-, Euxenit-, Xenotimkonzentrate, kanadische Yttriumvorkonzentrate u.a.
- 5.: Die Separation und Reindarstellung der S.E. geschieht durch Ionenaustausch. Für hochreines Y_2O_3 wird eine Kombination von Flüssig-flüssig-Extraktion und Ionenaustausch bevorzugt.
Die MCC hat einen umfangreichen "Wald" von Austauschersäulen in Betrieb (1967: 175 Stück). Jede dieser Säulen ist ca 6 m hoch und besitzt einen Durchmesser von 76 cm. Als Kationenaustauscherharz wird ein polymeres sulfatisiertes Polystyren verwendet und als Komplexbildner wahrscheinlich EDTA.
Die aus den Austauschersäulen einzeln herausgelösten S.E. werden in Fällungstanks mit Oxalsäure als Oxalate gefällt und abfiltriert (die EDTA sammelt sich im Filtrat und wird einem Rückgewinnungsprozeß unterzogen). Anschließend können die Oxalate bei $150^\circ C$ getrocknet und in einem Kalzinierungs-ofen bei $440^\circ C$ in Oxide überführt werden.
Die Skizze gibt einen Überblick über einen vollständigen Trennungsgang, der ab Eingabe der gemischten S.E.-Chloride bis zur vollzogenen Auftrennung ca. ein halbes Jahr dauert.

Abb.39: Skizze vom Ionenaustauschverfahren der MCC.



Eine bedeutende Rolle bei der Hochreingewinnung spielt auch die ständige analytische Kontrolle der Vorgänge. Um Verunreinigungen im ppm-Bereich feststellen zu können, werden Techniken wie Emissionsspektroskopie, Röntgenfluoreszenz, Atomabsorptionsspektrophotometrie und Flammenphotometrie nebeneinander angewendet.

Zur Darstellung der meisten Metalle werden die Oxide mit Ammoniumbifluorid in einem gasbeheizten Ofen auf 170 bis 340°C erhitzt. Das entstandene S.E.-Fluorid wird in einem Tantaltiegel mit Kalzium in inerter Argonatmosphäre zu Metall reduziert.

A: Das Unternehmen gehört zu den größten der Branche. Es bietet alle S.E. - metallisch oder als Oxide - in hochreiner Form an (min. 99,9%). Darüber hinaus werden verschiedene andere Legierungen und Salze der S.E. offeriert. Die Produktionskapazität für 99,99%-iges Y_2O_3 beläuft sich auf 140.000 lb.p.a. 1966 wurde für die S.E.-Verkäufe ein Erlös von \$ 3,5 Mio. erzielt.

N: MITTEN CHEMICALS, (USA)

S: Alma, Michigan

A: Oxide der S.E. in hochreiner Form auf bescheidener Basis.

N: MOLYBDENUM CORPORATION OF AMERICA (Molycorp), (USA)

280 Park Avenue
New York
N.Y. 10017

B: unabhängig

S: 1. Mountain Pass, Cal.
2. Louviers, Colo.
3. York, Pa.
4. Washington, Pa.

A: Bastnäsitkonzentrate eigener Produktion; Y-Vorstoffe

T: 1. Mountain Pass:

Grundlage der chemischen Aufbereitung ist ein kalziniertes Bastnäsitkonzentrat mit weniger als 3% Verunreinigungen. Der hohe Ceranteil hat sich dabei zu Ce^{IV} umgewandelt, das bei der anschließenden Behandlung mit 30%-iger HCl als einziges der S.E. ungelöst bleibt und abgetrennt werden kann. Die Lösung der restlichen S.E. wird zwei Flüssig-flüssig-Extraktionen unterworfen, wobei als organische Phase eine "organische Phosphorverbindung" (evtl. di-1-ethylhexyl phosphoric acid) dient. Im ersten Schritt werden La, Pr und Nd abgetrennt, im zweiten Durchgang das Eu von Sm, Gd und Y. Sind alle acht dafür vorgesehenen Mischungs-Fällungs-Stationen durchlaufen, erhält man neben zwei gemischten Konzentraten (La-Pr-Nd-Oxid und Sm-Gd-Y-Oxid) eine stark verdünnte Eu-Lösung (0,002 lb/gal) von hoher Ausbeute (98%) und 99,9%-iger Reinheit, aus der problemlos hochreines Eu_2O_3 gewonnen werden kann.

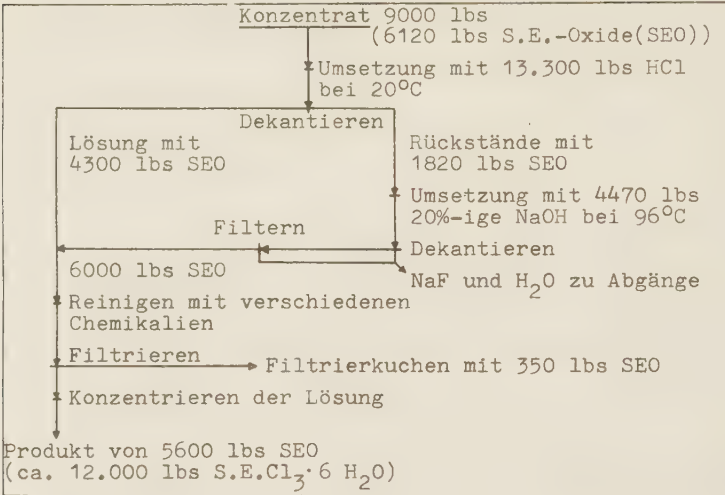
2. Louviers:

Das Werk wendet ebenfalls Solventverfahren zur Herstellung hochreiner getrennter Oxide und anderer Salze der S.E. aus den Zwischenprodukten des unter 1. beschriebenen Prozesses an.

3. York:

Ein Fließbild des Prozesses zur Herstellung ungetrennter Verbindungen (Chloride, Nitrate und Karbonate) gibt die folgende Abbildung:

Abb.40: Fließbild des Bastnäsitauflusses. -nach (150)-



Washington:

Die Darstellung der Metalle erfolgt durch Schmelzfluß-elektrolyse.

- A: Reine und hochreine (min.99,9%) Oxide werden von allen S.E. angeboten, reine Chloride, Nitrate, Karbonate u.a. Salze nur von den häufigsten S.E.; daneben gehören einige partiell und ungetrennte Verbindungen unterschiedlicher Reinheitsgrade sowie metallurgische Produkte (Legierungen und Silizide) zum Angebot. Die Molycorp ist der größte S.E.-Produzent der westlichen Welt. Ihre Produktionskapazitäten für ausgewählte Produkte:

Cer-Konzentrat	15 Mio.lb
La-Pr-Nd-Oxid (Konzentrat)	12 Mio.lb
Sm-Gd-Oxid (Konzentrat)	240.000 lb
Lanthanoxid (hochrein)	700.000 lb
Pr-Oxid (rein bis hochrein)	60.000 lb
Nd-Oxid (do.)	200.000 lb
Samariumoxid (hochrein)	150.000 lb
Europiumoxid (do.)	20.000 lb
Yttriumoxid (do.)	180.000 lb

Die Auslastung der Kapazitäten dürfte in den letzten Jahren durchschnittlich bei ca. 45-60% gelegen haben. Der Umsatz der S.E.-Abteilung hat sich in der folgenden

Weise entwickelt:	1964	\$ <1	Mio.
	1966	\$ 9,9	Mio.
	1968	\$ 10,2	Mio.
	1970	\$ 7,5	Mio.
	1971	\$ 12,0	Mio.

- V: 1. Es besteht eine Vereinbarung mit der japanischen Shin-Etsu Chemical Industry Co., nach der die Shin-Etsu ihre Vorstoffe von der Molycorp bezieht, die wiederum den Vertrieb der S.E.-Produkte des Unternehmens in den USA übernimmt.
2. Molycorp besitzt das Vorkaufsrecht für die von der Republic Steel Corp. künftig erzeugten Yttererdenvorstoffe aus dem Apatit ihrer Old-Bed-Magnetit-Mine.
3. Molycorp strebt ein 49:51% joint venture mit der Aluminium Co. of America an, das weltweit Metalle und Legierungen der S.E. herstellen und verkaufen soll.

M: NIPPON YTTRIUM COMPANY, (Japan)

500 Minamiura
Shinorenjaka
Mitaka-shi
Tokyo

B: Jeweils zu einem Drittel daran beteiligt sind:

Mitsui Mining & Smelting Co.
Tohoku Metal Industries Ltd.
Pyrites Co., Inc. (RTZ-Gruppe)

S: Mitaka, Tokio

R: Monazit und Yttriumvorkonzentrate

T: Die Reindarstellung wird mit einem Flüssig-flüssig-Verfahren vorgenommen, das von der britischen Thorium Ltd. entwickelt und patentiert wurde (RTZ-Gruppe). Es besitzt den Vorzug, sich verschiedenen Erzsorten anpassen zu können und in den Endprodukten lenkbar variabel zu sein.

A: Hochreines Yttriumoxid; Produktionskapazität dafür (1969): ca. 30.000 lb.p.a.
Daneben werden auch andere Verbindungen der S.E. erzeugt.

N: NUKLEAR-CHEMIE UND -METALLURGIE GMBH, (BRD)

R: Hochreine Grundstoffe

A: Er-, Y-, La-, Ce- und Sc-Targets

N: OGINO CHEMICAL CO., (Japan)

800 Uemaki
Ichijimacho
Hikami-gun
Hyogo Präfektur

S: Hikami, Hyogo

R: Monazit

A: Mischmetall

N: OTAVI-MINEN- UND EISENBAHNGESELLSCHAFT, (BRD)

6 Frankfurt a.M.
Hynspergstr. 24

L: Die Norddeutsche Affinerie ist an der Gesellschaft beteiligt.

S: Neu-Isenburg (Produktion von "seltenen Metallen") und Lünen (S.E.)

R: Euxenit- und andere Konzentrate (z.T. aus eigenen süd-afrikanischen Bergbauoperationen (?)).

A: Oxide und Metalle der S.E.

N: PECHINEY-UGINE KUHLMANN, (Frankr.)

16 Avenue Matignon	Bereich Spezialerzeugnisse:
Paris 8e	8 München 70
	Fallstr. 42

E: Holding der Cie.Péchiney, Cie.St.Gobain und UGINE Kuhlmann

S: Werk Vaugoin, La Rochelle-Pallice (Charente Maritime)

R: Monazit, Bastnäsit u.a. einschlägige Konzentrate.
Unterhält eigene Rohstoffquellen in Madagaskar (Produktion 1968 vorerst eingestellt) und Bou Naga; prospektiert Mrima Hill.

T: Monazit wird mit dem Alkaliprozeß aufgeschlossen, Bastnäsit mit Säure.
Für die Separation und Reindarstellung dienen Ionenaustausch und Flüssig-flüssig-Verfahren.

A: Ungetrennte Produkte: Ceritoxid, Ceritchlorid u.a. Ceritverbindungen, Cerox und Mischmetall (in Barren, Stücken oder Kugeln).

Partiell getrennte Produkte: Didymsalze, Didym (Metall), Cerox und Gd-Sm-Konzentrat.

Getrennte Produkte (Reinheiten: 99%, min.99% und min.99,9% Oxide und andere Salze aller S.E., Lanthan und Cer als Metall in Barren, Kugeln oder Draht (1,2 und 2,3 mm)).

Das Unternehmen gehört zu den größten der Branche. Seine Abteilung Nuklear- und Spezialmetalle und -legierungen verfügte über einen konsolidierten Umsatz (1970) von ca. 2,2 Mrd.F.

N: POTTER & CLARKE LTD., (U.K.)

R: Monazit, Xenotim u.a. einschlägige Konzentrate

A: Getrennte Verbindungen der S.E.

- N: RARE EARTH PRODUCTS LTD., (U.K.)
Vertretung in Deutschland: Metals Research GmbH
605 Offenbach
Schreiberstr.18
- B: zu je 50% sind Thorium Ltd. und Johnson-Matthey & Co.
an der Firma beteiligt.
- S: Widnes
- T: Ionenaustausch und metallothermische Reduktion
- A: Oxide aller getrennten S.E. in 99,9%-iger Reinheit,
für La auch 99,999% und Y 99,999 u. 99,9999%; verschie-
dene Salze aller S.E. bis 99,99%; alle Metalle in 99,9%
z.T. auch 99,99% als Folien (0,025; 0,10 u. 0,25 mm),
Drähte (1 mm Querschnitt) sowie Spezialerzeugnisse.
- N: RESEARCH CHEMICALS CORP., (USA)
Division of Nuclear Corp.of America
- B: unabhängig
- S: Phoenix, Arizona
- R: Yttriumreiche Vorstoffe
- T: Ionenaustausch und Flüssig-flüssig-Extraktion
- A: die meisten Verbindungen der S.E. in hochreiner Form,
ab 1966 auch alle Metalle.
Es handelt sich um ein kleines Unternehmen, das vor-
nehmlich für Forschungszwecke produziert.
- N: RONSON METALS CORP., (USA)
Cerium Metals & Alloy Division
45-65 Manufacturers Place
Newark 5
New Jersey 07105
- B: Gehört zur Ronson Corp.
- S: Newark, N.J.
- R: Monazit, Bastnäsit
- T: Direkte Chlorierung, Schmelzflußelektrolyse
- A: Führender Mischmetallproduzent der USA, bietet auch
ceriumfreies Mischmetall und Mischmetalllegierungen an;
ferner Cer, Lanthan und Didymium metallisch als Blöcke,
Späne und Pulver; andere hochreine S.E.-Metalle sind
in begrenzten Mengen erhältlich.
- N: SANTOKU METAL INDUSTRY CO., (Japan)
17, 2-chome, Fukae
Inari-suji, Honio-cho
Higashinuda, Kobe Präfektur

- S: Werk bei Kobe
R: Monazit
A: Ceritchlorid, Mischmetall und Zündsteinlegierungen
- N: SEMI-ALLOYS, INC., (USA)
S: Mount Vernon, N.Y.
R: Sc-Rohstoffe
A: Veredelt die Sc-Materialien
- N: SEMI-ELEMENTS, INC., (USA)
S: Saxonburg, Pa.
A: Hochreine Sc-Verbindungen (Produktionskapazität 1963: 3 sht.p.a.)
- N: SHIN-ETSU CHEMICAL INDUSTRY CO., (Japan)
S: Takefu, Fukui Präfektur
R: Bastnäsit von Mountain Pass u.a. Konzentrate
T: Zur Separierung dient ein in Japan entwickeltes Ionen-austauschverfahren.
A: Oxide, andere Verbindungen und Metalle der S.E. in hochreiner Form (min. 99,9%). Produktionskapazität für hochreines Y_2O_3 mindestens 25.000 lb.
V: Abkommen mit der Molycorp: Shin-Etsu nimmt Bastnäsit-vorstoffe ab, Molycorp vertreibt Shin-Etsu's S.E.-Produkte in den USA.
- N: THORIUM LTD., (U.K.)
Waterloo Road
Widnes, Lancs.
B: Gehört zur Rio Tinto Zinc Corp.Ltd. durch die Imperial Smelting Corp.
S: Widnes, Lancs.
R: Bastnäsit (Mountain Pass), Yttriumvorkonzentrate (Blind River) u.a.
T: Die Firma benutzt Flüssig-flüssig-Extraktion zur Herstellung der Oxide der Ceriterden und des Yttriums. Das Verfahren wurde in den Laboratorien der Firma selbst entwickelt und zeichnet sich durch Flexibilität aus, einerseits wegen der Anpassung an verschiedene Erze und zum anderen wegen einer Einflußnahmemöglichkeit auf die Zusammensetzung der Endprodukte.

Die Produktionskapazität für Pr_2O_3 beträgt 65.000 lb. p.a. und sollte bis 1972 auf 97.500 lb.p.a. angehoben werden.

A: Verbindungen aller S.E. bis zu hochreiner Form, partiell und ungetrennte Verbindungen (Polierpulver).

V: Molycorp und Nippon Yttrium haben die Lizenz für das Solventverfahren erworben.
Thorium Ltd. ist zu 50% an der Rare Earth Products Ltd. beteiligt.

N: TRANSELCO, INC., (USA)

S: Penn Yan, N.Y.

A: ungetrenntes Ceritoxid für Polierpulver.

N: TREIBACHER CHEMISCHE WERKE AG, (Österr.)

A-9330 Treibach
Postfach 31

B: unabhängig

S: Treibach

R: Monazit, Bastnäsit u.a. Konzentrate

T: Mittels naßchemischer Aufschlußverfahren erzeugte S.E.-Chloride werden durch Erhitzen im Vakuum dehydratisiert und in dieser Form für die Metallherstellung in die Schmelzflußelektrolyse eingegeben.

A: Wichtiger Mischmetallproduzent; darüber hinaus werden Ferrolegierungen und Karbide verschiedener S.E. angeboten, neben den Oxiden u.a. Salzen der Ceriterden und des Yttriums.

N: TYPPI OY, (Finnland)

B: staatlich geführt

S: Oulu, Nordfinnland

R: niedriggradige Konzentrate von der Korsnäs-Mine, Rückstände der Apatitaufbereitung (arm an Ce, reich an Y, Eu, Gd, Tm und Er) u.a. kommerzielle S.E.-Konzentrate.

T: Ionenaustausch, fraktionierte Fällung und Flüssigflüssig-Extraktion werden für die Reindarstellung eingesetzt.

A: Verschiedene Verbindungen der S.E. bis zu hochreiner Form. Aus dem Apatitdurchsatz zweier Jahre (ca. 6500 t) gelang es Prof. O. Erätmettä erstmals etwa 82 mg natürliches Promethium zu isolieren.

Die S.E.-Produktion wurde 1963 begonnen, mit dem Ziel, mehr als 100 t.p.a. S.E.-Oxid-Äquivalente auszustoßen.

N: UNION CARBIDE CORP., (USA)

270 Park Avenue
New York
N.Y. 10017

S: Alloy, W.Va.
Niagara Falls, N.Y.

R: unbekannt; das Unternehmen prospektiert Karbonatite
in Afrika.

A: S.E.-Silizide; in Niagara Falls wurde Sc metallisch
hergestellt.

N: UNITED MINERALS & CHEMICAL CORP., (USA)

S: New York, N.Y.

A: Sc-Produkte

N: VITRO LABORATORIES, (USA)
Division of Vitro Corp.of America

S: West Orange, N.J.

R: Hochreine S.E.-Materialien

A: Werkstoffe für die Kernforschung und -industrie (Kern-
brennstoffe, Moderatoren u.ä.); Hochtemperaturwerkstof-
fe sowie metallurgisch wichtige S.E.-Produkte (Silizide
u.a.).

III,5 GRUNDSTOFFE UND IHRE PREISE

Vorbemerkung.

Hier kann nur ein Teil der Produktvielfalt des S.E.-Grundstoffsektors aufgeführt werden, dabei vor allem jene Erzeugnisse, die von kommerziellem Interesse sind.

Die Abgabepreise wie die weiteren Angaben zu den Produkten gelten für ausgewählte Beispiele, die den angegebenen Quellen entnommen wurden. Diese Daten variieren natürlich von Unternehmen zu Unternehmen.

Die Preise verstehen sich für den Kauf kleiner Mengen (1 lb).

- Die Quellen:
- (1) Ronson Price Schedule 4/67
 - (2) do. 2/68
 - (3) do. 10/68
 - (4) Molycorp Price Schedule MP 7-255
 - (5) do. L 15-109
 - (6) Molycorp Overview 27, Juli 1971
 - (7) MANDLE, R.M. & MANDLE, H.H. (222)
 - (8) Minerals Yearbook 1971 (299)
 - (9) do. 1967 (299)
 - (10) Metals Week, Feb. 24, 1969, S.15
 - (11) US Bur. of Mines, Commodity Data Series, 1971 (300)

III,5,1 Verbindungen der ungetrennten Seltenen Erden

Produkt	Reinheit	Preis/ Handelsform	Bezugs- jahr	Bemer- kungen	Quelle
Ceritchlorid	45-50% S.E.	\$ 0,12-0,20/lb pulvrige, kri- stalline Masse in Fässern o. Plastiksäcken	1970	meist aus - Monazit	-
Ceritoxid	85-90% S.E.-Oxid	\$ 0,40/lb Pulver in Papiersäcken à 100 lb o. Stahlfässern	1972	kalzinierter Bastnäsit	(4)

(Ceritoxid gibt es auch in etwas reineren Qualitäten, z.B. als Pulver mit min. 95% S.E.-Oxide für Bogenlampenkohlen oder mit 48-50% CeO₂ für die Glaspolitur (Cerox 50 der Péchiney))

Die Preise der anderen Ceritverbindungen (Karbonate, Sulfate, Hydroxide usf.) bewegen sich in der gleichen Größenordnung.

Oxid	Reinheitsgrad (in % vom gesamten S.E.-Oxid-Gehalt)	Preis (pro lb)	Bezugsjahr	Quelle ⁺
Nd	95 99,9 99,99	\$ 4 \$ 14 \$ 25	1972	(5.)
Sm	99,9	\$ 35	1972	(5.)
Eu	99,0 99,99	\$ 415 \$ 425	1972	(5.)
Gd	99,9 99,99	\$ 47 \$ 50	1972	(5.)
Tb	99,9	\$ 300	1971	(8.)
Dy	99,9	\$ 55	1971	(8.)
Ho	99,9	\$ 150	1971	(8.)
Er	99,9	\$ 85	1969	(10.)
Tm	99,9	\$ 1250	1971	(8.)
Yb	99,9	\$ 110	1971	(8.)
Lu	99,9	\$ 2300	1971	(11.)

III,5,6 Die separaten Metalle der Seltenen Erden

Generell sind die metallischen Grundstoffe fünf- bis zehnfach teurer als die zugehörigen Verbindungen gleichen Reinheitsgrades. Weil die meisten reinen Metalle von den Firmen nur in Entwicklungsmengen geliefert werden können und von daher mit sehr unterschiedlichen, nicht direkt vergleichbaren Handelsausstattungen angeboten werden (z.B. als Folien, Drähte, Barren, Späne, Kugeln oder Pulver unterschiedlicher Kennwerte), erscheint ihr Preisbild sehr differenziert und in seinen Zusammenhängen schwerer hintersehbar. In etwa repräsentative Preise - wie sie für die anderen Produkte anzugeben versucht wurden - sind nicht deutlich erkennbar. Nur unter diesem Vorbehalt sollten die nachfolgenden Beispiele aufgenommen werden.

Metall	Reinheitsgrad (in % vom gesamten S.E.-Gehalt)	Preis (f.o.b.USA- Vertriebsst.)	Bezugs- jahr	Quelle ⁺
Sc	99,9	\$ 8/g (in 10g-Barren)	1971	(8.)
Sc ⁴⁶		\$ 20/mCurie (Aktivität:10Curie/g)	1967	(9.)
Y	99,9	\$ 150/lb	1971	(8.)
La	99,7	\$ 35/lb	1971	(8.)
Ce	99,9	\$ 30/lb	1971	(11.)
Nd	99,9	\$ 115/lb	1971	(8.)
Gd	99,9	\$ 180/lb	1971	(8.)

⁺Quellenangabe: S.159

III,5,4 Partiell getrennte Metalle

Produkt	Reinheit/ Zusammensetzg.	Preis	Bezugs- jahr	Handels- form	Quelle ⁺
Ce-free MM	99,8% S.E. davon v.H.: 0,26 Ce 42 Nd 14 Pr 3 Gd 40,74 La u. restl.S.E.	\$ 8,00/lb f.o.b. Newark/USA	1969	Barren, Späne u. Pulver	(1.)
Didymium	97% S.E. davon v.H.: 0,2 Ce 72 Nd 18 Pr 9,8 La u. restl.S.E.	\$ 22,50/lb f.o.b. Newark/USA	1969	Barren, Späne u. Pulver	(1.)

III,5,5 Verbindungen der getrennten Seltenen Erden

Es haben hier nur die Oxide Berücksichtigung gefunden, da sie die wichtigsten Produkte sind und sich darüber hinaus mit den anderen anorganischen Salzen preislich in etwa decken (wenn man den S.E.-Anteil jeweils relativiert).

Sie werden gewöhnlich als kristalline Pulver gehandelt, in Ausnahmefällen - für spezielle Zwecke und wenn ultrahohe Reinheiten gewünscht sind - auch in Einzelkristallen. Die Preise gelten f.o.b. USA-Vertriebsstellen.

Oxid	Reinheitsgrad (in % vom gesam- ten S.E.-Oxid-Gehalt)	Preis	Bezugsjahr	Quelle ⁺
Sc	99,9	\$ 2,80/g	1971	(8.)
Y	95	\$ 30/lb	1972	
	99,99	\$ 32/lb	1972	(5.)
	99,999	\$ 250/lb	1972	
La	99,99	\$ 4/lb	1972	(5.)
Ce	95	\$ 1,70/lb		
	99,9	\$ 2,15/lb	1972	(5.)
Pr	95	\$ 16,50/lb		
	99,9	\$ 35/lb	1972	(5.)

⁺Quellenangabe: S.159

Oxid	Reinheitsgrad (in % vom gesamten S.E.-Oxid-Gehalt)	Preis (pro lb)	Bezugsjahr	Quelle ⁺
Nd	95	\$ 4		
	99,9	\$ 14	1972	(5.)
	99,99	\$ 25		
Sm	99,9	\$ 35	1972	(5.)
Eu	99,0	\$ 415	1972	(5.)
	99,99	\$ 425		
Gd	99,9	\$ 47	1972	(5.)
	99,99	\$ 50		
Tb	99,9	\$ 300	1971	(8.)
Dy	99,9	\$ 55	1971	(8.)
Ho	99,9	\$ 150	1971	(8.)
Er	99,9	\$ 85	1969	(10.)
Tm	99,9	\$ 1250	1971	(8.)
Yb	99,9	\$ 110	1971	(8.)
Lu	99,9	\$ 2300	1971	(11.)

III,5,6 Die separaten Metalle der Seltenen Erden

Generell sind die metallischen Grundstoffe fünf- bis zehnfach teurer als die zugehörigen Verbindungen gleichen Reinheitsgrades. Weil die meisten reinen Metalle von den Firmen nur in Entwicklungsmengen geliefert werden können und von daher mit sehr unterschiedlichen, nicht direkt vergleichbaren Handelsausstattungen angeboten werden (z.B. als Folien, Drähte, Barren, Späne, Kugeln oder Pulver unterschiedlicher Kennwerte), erscheint ihr Preisbild sehr differenziert und in seinen Zusammenhängen schwerer hintersehbar. In etwa repräsentative Preise - wie sie für die anderen Produkte anzugeben versucht wurden - sind nicht deutlich erkennbar. Nur unter diesem Vorbehalt sollten die nachfolgenden Beispiele aufgenommen werden.

Metall	Reinheitsgrad (in % vom gesamten S.E.-Gehalt)	Preis (f.o.b.USA- Vertriebsst.)	Bezugs- jahr	Quelle ⁺
Sc	99,9	\$ 8/g (in 10g-Barren)	1971	(8.)
Sc ⁴⁶		\$ 20/mCurie (Aktivität:10Curie/g)	1967	(9.)
Y	99,9	\$ 150/lb	1971	(8.)
La	99,7	\$ 35/lb	1971	(8.)
Ce	99,9	\$ 30/lb	1971	(11.)
Nd	99,9	\$ 115/lb	1971	(8.)
Gd	99,9	\$ 180/lb	1971	(8.)

⁺Quellenangabe: S.159

bei 5-6000 t.p.a. gelegen haben. Die Nachkriegsentwicklung der S.E.-Märkte darf danach bis 1960 als wenig dynamisch und unattraktiv bezeichnet werden. Latent vollzogen sich in dieser Periode wesentliche Strukturverbesserungen, die den Verbrauch nachhaltig beeinflussen sollten.

-1- In den Forschungsstätten der USA, wo im Zuge der Entwicklung der Kernspaltungsprozesse über 30 Isotope der Seltenen Erden auftraten, wuchs das Interesse der AEC, diese noch relativ unbekannt gewesenen Elemente näher kennenzulernen, wobei der Gedanke mit im Vordergrund gestanden haben dürfte, bestimmte Eigenschaften - wie etwa die hohen Absorptionsquerschnitte einiger S.E. für thermische Neutronen (vgl.Tab.20,S.175) - für die Kerntechnik nutzbar zu machen. Darüber hinaus konnten die Lanthaniden modellhaft Verhaltensweisen der bekanntlich schwer verfügbaren Actiniden veranschaulichen.

Die Folge war, daß staatliche Forschungsinstitute sich intensiv mit Grundlagenforschungen über die Seltenen Erden befaßten und der Staat Forschungsprogramme an Universitäten und auch privaten Forschungsstätten anregte und förderte.

-2- Die Entdeckung (1950) und Erschließung der größten Bastnäsitlagerstätte der Welt im kalifornischen Mountain Pass Distrikt mag in den USA die Einsicht gefördert haben, die nun im eigenen Lande z.T. in nahezu unbeschränkter Menge zur Verfügung stehenden S.E. durch verstärkte Unterstützung auch der Anwendungsforschung den Weg in die Industrie zu ebnen.

-3- Im Zuge der nationalen Thoriumbeschaffungsprogramme wurden mit dem Ausbau der Produktionskapazitäten für die Th-Separation aus Monazit auch die S.E.-Gewinnungsanlagen beträchtlich erweitert. Die Gesamtkapazität der US-amerikanischen Hütten lag noch 1957 unter 10.000 t S.E.-Oxide und war bis 1960 auf über 20.000 t angestiegen.

-4- Durch das in den Ames Laboratories entwickelte Ionenaustauschverfahren ließ sich die Reindarstellung der S.E. erstmals großmaßstäblich und kostengünstig bewerkstelligen. Ab 1955 begann die kommerzielle Einführung des Verfahrens

und damit eine drastische Verbilligung der reinen, getrennten S.E.-Produkte. Gegen Ende der fünfziger Jahre entwickelte sich die Solvent-Extraktionstechnik, mit der große Mengen der reinen Produkte (besonders der leichteren S.E.) nun auch in kürzerer Zeit verfügbar gemacht werden konnten.

IV,1,3 Bedarfszuwachs in den sechziger Jahren

Zu Beginn des neuen Dezenniums wiesen die Märkte der S.E. somit eine Reihe von Anzeichen auf, die eine mittelfristige Belebung erwarten ließen. Die nächsten Jahre brachten in der Tat einen Konsumanstieg, der sich indes in engen Grenzen hielt: für die USA von ca. 1500 sht S.E.-Oxide in 1959 über 2150 sht in 1961 auf 2337 sht in 1963. Besonders die Hoffnung, mit verbilligtem Ceritoxid-Polierpulver den ausgedehnten Markt der Planglasherstellung (Scheiben und Spiegel) zu erobern, ist nach ermutigenden Ansätzen (1961-62) gescheitert, weil die Einführung des Pilkington-Verfahrens zur Herstellung von Planglas eine Politur überflüssig machte. Der Verbrauch an getrennten Seltenen Erden zeigte nur geringe Tendenz zur Zunahme und überstieg kaum den Forschungsbedarf; das Hauptgeschäft wurde weiter mit den partiell und ungetrennten Produkten gemacht. Der erhoffte Boom war zunächst ausgeblieben.

1965 dann, im Anschluß an die Entwicklung eines neuen Rotleuchtstoffs auf Eu_2O_3 -aktivierter Yttriumorthovanadat-Basis bei der Sylvania Electric Co., der für ein auffallend verbessertes Rot auf den Farbfernseh Bildschirmen sorgte, so daß aus Konkurrenzgründen alle Geräte damit ausgerüstet werden mußten, zog sprunghaft die Nachfrage nach reinen Eu- und Y-Oxiden an. Trotz des hohen Preisniveaus beider (1965 kostete 99,9%-iges Eu_2O_3 um \$ 650/lb und 99,9%-iges Y_2O_3 um \$ 50/lb) mußten die Produktionskapazitäten alsbald erweitert werden, um den Mehrbedarf zu befriedigen. Die durch die exzessiv erhöhte Eu-Produktion zwangsläufig stark überschüssig gewordenen anderen Produkte der Ceriterden konnten durch Verbilligungen ebenfalls zunehmend abgesetzt werden. So begann sich die Erdölindustrie S.E.-versetzter Katalysa-

toren für das Cracken zu bedienen und trat zunächst in den USA, nachfolgend auch in Japan und Europa als mengenmäßig größter Verbraucher hervor. Aber auch der Konsum der Glas-industrie und für metallurgische Zwecke erhöhte sich auffallend. Einige Daten sollen diese Entwicklung veranschaulichen:

Tab.19: Industrieller Verbrauch in den USA

a. <u>Mengenbasis in sht S.E.-Oxide</u>								
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
Gesamtmenge:	2320	4400	5710	6000	8500	11000	11500	11000
davon für:								
Katalysatoren			18%			60%		40%
Glas u.Keramik			31%			20%		26%
Metallurgie			26%			15%		27%
Sonstiges			25%			5%		7%

b. <u>Dollarbasis</u>				Quellen:
	1965	1966	1967	
Gesamtwert (Mio.)	16	21	15	(298)
davon für:				(299)
Katalysatoren	10%	5-10%	10-15%	(300)
Glas u.Keramik	20%	5-15%	15-20%	
Metallurgie	20%	3-4%	5%	
Bogenlampen	5%	4%	5%	
Eu ₂ O ₃ /Y ₂ O ₃	35%	65-70%	47%	
Eletrotechnik	4%	3%	5%	
Diverses	6%	3-5%	8%	

Der Entschluß, angeführt von der Molybdenum Corporation die Produktionskapazitäten in der erforderlichen Weise auszubauen, um die hohe Gewinnerwartung aus dem Verkauf der teuren Eu- und Y-Oxide realisieren zu können, hat sich im Rückblick als richtig erwiesen. Der Verkauf der beiden Oxide trug zu einer außerordentlichen Belebung des Umsatzes bei (vgl. Tab.19b u.S.153 oben). Jedoch war die Vorwärtsstrategie den Hütten nicht leichtgefallen. Denn auf der anderen Seite befürchtete man durch die so einseitig motivierten Kapazitätserweiterungen eine nachhaltige Zerstörung der sorgfältig gehüteten Absatzbalance (vgl. S.194 ff.) unter den Seltenen Erden. Zwar hatte man gezielte Preissenkungen für die "Nebenprodukte" ins Auge gefaßt, um die Absatzdisproportionierungen in Grenzen zu halten, doch reichte der Verbrauchszuwachs dann bis 1968 tatsächlich nicht aus, den

Ceriterdenüberhang abzubauen. Erst ab 1968, also langfristige, erwies sich diese Entscheidung auch in der Breitenwirkung als Erfolgsstrategie (vgl.Tab.19a).

Die Verbrauchsentwicklung zeigte nach einer kurzen, konjunkturrell bedingten Beruhigung (1971) im 1. Halbjahr 1972 weiterhin steigende Tendenz. Neben dem Mehrbedarf in den schon klassischen Bereichen Eisenmetallurgie, Leuchtstoffe für Farbfernsehergeräte und Glas- und Keramikverarbeitung wurde eine zunehmende Diversifizierung der kommerziell eingeführten Verwendungen spürbar. Insbesondere der neuartige Einsatz von S.E.-Additiven in niedriglegierte Stähle für Erdöl- und Erdgasrohre (198) hat den Absatz auch relativ teurer metallurgischer S.E.-Produkte stark gefördert (275).

IV,2 DIE GEGENWÄRTIGEN VERWENDUNGEN

Es ist hier nicht möglich, alle Verwendungsmöglichkeiten für die Seltenen Erden aufzuzeigen. In der vorliegenden Zusammenstellung finden sich überwiegend jene aufgenommen, die industriell eingeführt sind oder deren Vermarktung erwartet werden kann.

Bei vielen Angaben sind Literaturstellen aufgeführt, immer dann, wenn über die bloße Erwähnung hinaus nähere Aussagen über Eigenarten, Wirkungen und Einsatzbereiche der Verwendung gemacht werden. Über ergänzende Bibliographien und umfassende Darstellungen ganzer Verwendungsbereiche gibt das Literaturverzeichnis (S.218) Auskunft.

IV,2,1 Verwendungen für ungetrennte Verbindungen

1a In der billigen hydratisierten Form finden S.E.-Verbindungen Einsatz für die Aktivierung von Katalysatoren auf Zeolithbasis, deren Effizienz beim Cracken von Rohöl sie um ein Vielfaches steigern (211). Es handelt sich um den Verwendungszweig mit dem mengenmäßig größten S.E.-Verbrauch während der letzten vier Jahre (gemeinsam mit 3a um 50% vom Gesamtverbrauch).

1b S.E.-Phosphate werden als verbesserte Katalysatoren für die Umwandlung von Phenolen zu Pestiziden und anderen petrochemischen Stoffen und Plastik eingesetzt (236).

- 1c In oxidischer Form dienen sie zum Polieren von optischen Gläsern, Spiegeln und Bildröhren und konkurrieren hier erfolgreich gegen das Polierrot. Obwohl teurer als jenes, sind sie wirtschaftlicher, weil sie effektiver und sauberer zu handhaben sind. 70g Cerox (ein Produkt der Péchiney) pro l Wasser können 5-6 mal ohne Verlust an Effizienz benutzt werden (192). Ein nicht unwesentlicher Teil des Gesamtverbrauchs an S.E. entfällt auf diese Verwendung (zwischen 7 und 12%).
- 1d Die Einarbeitung der S.E.-Halogenide (meist Fluoride) und -Oxide in Bogenlampenkohlen für helleres und vollständigeres Licht beansprucht ebenfalls einen substantiellen Teil vom Gesamtverbrauch (zwischen 5 und 10%).
- 1e Bestimmte Verbindungen zieht man zur Herstellung von Naphtenaten, Oktoaten und Resinaten für Sikkative z.B. in Farben heran.
- 1f In kleinen Mengen benötigt die Textilindustrie Seltene Erden (meist in der hydratisierten chloridischen Form) zum Schwersen, Färben und Bleichen sowie zum Waterproofing und Fäulnisschutz von Stoffen.

IV,2,2 Die Verwendung der ungetrennten Metalle

Die Legierung aller S.E. als Mischmetall (MM) und in Verbindung mit Silizium (S.E.-Silizide) konkurrieren um die metallurgischen Verwendungsmöglichkeiten, die ca. 10-15% vom Gesamtverbrauch an Seltenen Erden beanspruchen.

IV,2,2,1 Für Metallguß

- 2a Zusätze in der Größenordnung von 0,03 bis 0,3% MM und die etwas billigeren Additive (48 lb/t) mit S.E.-Siliziden werden bei der Herstellung von grauem Gußeisen herangezogen (250), wobei man speziell auf die folgenden Effekte abzielt:
- Sphärolitisierung des lamellaren Graphits (189)
 - Reduktion der Mg-Verunreinigungen
 - Erhöhung der Zähigkeit der Schmelze in der Gießpfanne, wodurch die Standzeit verlängert wird
 - verbesserte Entschwefelung
- 2b Die Eigenschaft der Seltenen Erden, Verunreinigungen zu einer sphärolitischen Struktur zu überführen, macht man sich auch bei der Herstellung von Magnesium-Ferrosilizium-Legierungen zunutze, wobei negative Einflüsse von Ti, Pb, Sb, Bi, Al, Cu, As und Sn weitgehend eliminiert werden und generell die Duktilität der Legierung erhöht wird.

IV,2,2,2 Bei der Stahlherstellung

Allgemein haben die Zusätze folgende Auswirkungen auf die Stähle:

- Kornverfeinerung
- verbesserte Kerbschlagzähigkeit und Duktilität (240)(249)
- Entfernung von Metalloiden (S (175), As, P, Pb, Bi) und Wasserstoff; Denitrierung und Entgasung
- erhöhte Feuerfestigkeit
- verbesserte Schmied- und Warmverformbarkeit
- Erhöhung der Rekristallisationstemperatur
- evtl. verbessertes Korrosionsverhalten

Man arbeitet mit den S.E.-Zusätzen in fast allen Zweigen der Stahlfabrikation, wobei die nachfolgend genannten Stahlarten von besonderer Bedeutung für den Verbrauch sind:

- 2c 0,05% S.E.-Additive werden in Gemeinschaft mit 1,35% Mn und 0,1% Nb zu Spezialstählen für besondere, in Permafrostgebieten verwendbare, Erdöl- und Erdgasrohre zugegeben (198)(199). Diese Verwendung ist erst seit 1972 mengenmäßig von hervorragender Bedeutung.
- 2d Niedrig legierte Stähle benötigen Zusätze bis zu 0,2%, wobei insbesondere auf bessere Verformbarkeit und Schlagfestigkeit Wert gelegt wird.
- 2e Kleine Zusätze erhalten Werkzeugstähle (zur Verbesserung der Gießfähigkeit), Konstruktionsstähle, feuerfeste Stähle und Silizium-Stähle.
- 2f Bei austenitischen und teilweise austenitischen, rostfreien Stählen wird durch S.E.-Zusätze bis zu 0,3% der O₂-Gehalt auf 0,002 bis 0,004% erniedrigt; der Restgehalt an S.E. darf jedoch 0,1% nicht übersteigen (216).

IV,2,2,3 S.E. zu Mg- und Al-(Fe-)Legierungen

Bestimmte Werkstoffe dieser Sparte spielen bei der Flugzeugfabrikation (insbesondere für Düsentriebwerke) und in der Raketentechnik eine hervorragende Rolle. Einige ihrer guten Eigenschaften gehen z.T. auf die S.E.-Zusätze zurück, so z.B.:

- die Kornverfeinerung und Verringerung der Mikroporosität
- die lange Lebensdauer
- die hohe Härte und Festigkeit auch bei hohen Temperaturen

2g Eine Mg-Legierung mit 1,2% MM, 4% Zn und 0,7% Zr zeichnet sich durch hohe Festigkeit, geringe Porosität und gute Gießbarkeit aus und wird z.B. zu Getriebegehäusen von Hubschraubern verarbeitet.

2h Für Magnesium Knet- und Gußlegierungen arbeitet man mit MM-Zusätzen von 0,17-4%.

2i Auch dem Umschmelzaluminium wird MM zugegeben.

IV,2,2,4 Pyrophore Legierungen

Neben seiner Verwendung in der Stahl- und Gußfabrikation liegt hier seit langem das mengenmäßig wichtigste Verbrauchsfeld für MM, da es an der Zusammensetzung der Legierungen

("Ferrocerium") großen Anteil hat.

- 2j So bestehen die Legierungen für Feuerzeugzündsteine aus 60-80% MM und 40-20% Eisen.
- 2k Zündsteine für Sicherheitslampen enthalten sogar 85% MM und 15% Fe.

IV,2,2,5 Diverse

- 2l Zur Erhöhung ihrer Oxydationsresistenz erhalten Ni-Cr-Heizleiterlegierungen MM-Zusätze in der Größenordnung von 0,03 bis 0,05%.
- 2m Für den selben Zweck erhalten auch Hochtemperaturlegierungen (Ni-Cr-Co und Ni-Cr-Fe) MM-Zusätze in ähnlicher Menge.
- 2n MM wird zu ca. 0,14% Blei- und Blei-Zinn-Bronzen beige-fügt, um die inverse Blockseigerung zu unterbinden und für eine bessere Schmied- und Walzbarkeit zu sorgen (210).
- 2o Es beginnen sich den S.E. auch vielseitige Verwendungsmöglichkeiten (z.B. Deoxidierung) in der Kupfermetallurgie zu eröffnen (205)

IV,2,3 Verwendungen für partiell getrennte Verbindungen

- 3a La- sowie Ce-angereicherte S.E.-Salze werden (wie schon ungetrennte Verbindungen) in größeren Mengen für Katalysatoren in der Erdölindustrie zum Cracken verbraucht (vgl.: 1a).
- 3b Didymiumverbindungen finden Verwendung bei der Herstellung elektrotechnischer Keramik und zum Färben von Gläsern (neutralgrau).
- 3c CeO₂-angereicherte (90%) S.E.-Oxid-Pulver werden als Spezialpoliermittel für optische Gläser, metallische und Plastikwerkstoffe eingesetzt.

IV,2,4 Partiell getrennte Metalle

- 4a Didymium und Ce-freies Mischmetall werden Magnesiumlegierungen zugesetzt, um deren Dauerstandfestigkeit zu erhöhen. Die Legierung Q 22A (mit 1,2 bis 3% Di) hielt Belastungen von ca. 16 kp/mm² etwa 30 h stand.

Generell beginnen beide das MM aus gewissen Bereichen der Metallurgie zu verdrängen, dort wo aufgrund neuerer Untersuchungen nachgewiesen werden konnte, daß die positiven Einflüsse weniger auf Ce als auf Nd und/oder Pr zurückzuführen sind bzw. Cer störend wirken kann.

IV.2,5 Die Verwendung der separierten Seltenen Erden

Grundstoffe der getrennten Seltenen Erden haben zu etwa 20% am gesamten S.E.-Verbrauch Anteil.

a. Lanthan (La)

- a1 La_2O_3 wird optischen Fasern und Gläsern zur Verbesserung der Brechungsindizes zugesetzt. Zum gleichen Zweck und darüber hinaus zur Einschränkung der Dispersion findet es sich in Borosilikat- und Borat-Kameralinsen.
- a2 Es findet Anwendung bei der Herstellung elektrotechnischer Keramik, z.B. bis zu 20 mol-% in Kondensatoren (185) oder bis zu 0,006 mol-% in Widerständen.
- a3 Es verbessert die Alkaliresistenz von Gläsern (in Konkurrenz mit ZrO_2) (234); bei Zusatz von 12,9% ist keine Korrosion mehr nachweisbar (228).
- a4 LaCoO_3 (für etwa \$ 1/lb) erscheint als einer der vielversprechendsten Katalysatoren für die vollständige Verbrennung von Autoabgasen (219).
- a5 Yb- und Er-aktiviertes LaF_3 dient als Grünleuchtstoff für Röntgenbildschirme (179).
- a6 Lanthanborid emittiert thermische Ionen.
- a7 LaCl_3 wird Blut- und Urinproben für eine vollständige spektrophotometrische Bestimmung des Ca-Gehalts zugesetzt (248).
- a8 Verschiedene Salze katalysieren die Polymerisation organischer Stoffe.
- a9 La-Metall hat sich als Getter bewährt.
- a10 Es findet sich in Elektroden von Gasentladungslampen.
- a11 Ein Zusatz von 0,1% La dient zur Erhöhung der Oxydationsresistenz des Kupfers, ohne dessen Leitfähigkeit zu beeinträchtigen.

b. Cer(ium) (Ce)

Glas- und Keramikindustrie:

Diese Branche ist der bedeutendste Abnehmer für Verbindungen des Cers.

- b1 Man benötigt das Oxid in stärkeren Zuschlägen für eine intensive Absorption der UV-Strahlung: für Schutz- und Sonnenbrillen, optische und phototropische Gläser (Fenster Scheiben, Crookes Glas)
- b2 Auch zur Trübung von Emaille und mit TiO_2 zur Gelbfärbung wird es herangezogen.

- b3 In Lebensmittelgläsern dient das Oxid ebenfalls zur UV-Lichtabsorption, um den Inhalt vor Verderb zu schützen.
- b4 Geringe Zusätze von CeO_2 werden zur Entfärbung (in Verbindung mit Se (177)) und zur Farbstabilisierung herangezogen. Dabei verhindert die starke Oxydations-des Ce^{IV} die strahlungsbedingte Entstehung niedrig-valenter Fe- und Pb-Zustände ("Braunwerdung") z.B. in Farbbildröhren.

Chemische Industrie:

- b5 CePO_4 wirkt als Katalysator bei der Umwandlung von Phenolen zu pharmazeutischen und petrochemischen Produkten (236).
- b6 Wegen seiner beiden stabilen Zustände (Ce^{III} u. Ce^{IV}) ist es für die analytische Chemie von Interesse.
- b7 Für die Herstellung von Sikkativen für Farben und Druckfarben wird es verwandt.
- b8 Spezielle Ce-Salze fördern katalytisch die Polymerisation bestimmter organischer Stoffe (247).

Elektrotechnik:

- b9 CeCo_5 eignet sich für permanentmagnetische Werkstoffe und besitzt die nur noch von Sm-Co-Legierungen übertroffene maximale Koerzitivkraft von 21 MG.Oe (246).
- b10 Cer wird häufig als Gettermetall eingesetzt.
- b11 Das Oxid findet sich in elektrotechnischer Keramik, insbesondere für Kondensatoren (182).
- b12 Elektroden von Gasentladungslampen arbeiten mit Cer.
- b13 CeO_2 -Überzüge auf Küchenherden, Bratöfen und evtl. auch in Verbrennungsmaschinen dienen der Selbstreinigung durch Oxidation bzw. der vollständigen Kraftstoffverbrennung (229).

Diverse:

- b14 In der Reaktortechnik wird Cer in hydridischer Form und manchmal legiert mit Zr für feste Moderatoren verwendet. Auch zur Abschirmung und, in Form von Ce-Co-Pu-Legierungen, als flüssiger Kernbrennstoff eignet es sich (208).
- b15 Aus den Oxiden werden Fluoreszenzverbindungen hergestellt.
- b16 Ce-Th-Sulfid dient als Hochtemperaturtiegelmaterial.
- b17 Geringe CeF_3 -Zusätze stabilisieren Chrombäder für das elektrische Platinieren.
- b18 CeF_3 hat ein begrenztes Wirkungsfeld in der Stahlmetallurgie (176).

c. Praseodymium (Pr)

- c1 Das Oxid hat sich als Färbemittel von Gläsern, Email und Keramik etabliert. Es ergibt eine grünlichgelbe, zusammen mit ZrO_2) sattgelbe Tönung. Die Färbung der Gläser erfolgt ohne Änderung der Brechungsindizes (193). Das ist die hauptsächlichliche Verwendung von Praseodymium.
- c2 In Schutzbrillen entzieht Pr (zusammen mit Nd) dem Licht das Gelb und verbessert darüber hinaus die Infrarot-Absorption des Glases. (197)
- c3 Zusätze des Oxids kommen in Cermets für elektrotechnische Zwecke (z.B. Widerstände) vor.
- c4 $Sm_{0,5}Pr_{0,5}Co_5$ ist ein neuer Permanentmagnetwerkstoff mit der überragenden max. Koerzitivkraft von 23,1 MG.Oe. Der hohe Preis der S.E. steht seiner breiten industriellen Einführung noch entgegen (194).

d. Neodymium (Nd)

- d1 Das Oxid nimmt man zum Färben von Gläsern. In Verbindung mit anderen Komponenten reicht die Farbskala von weinrot über purpur und lavendel bis grau. Die Brechungsindizes bleiben dabei unverändert.
- d2 Nd_2O_3 trägt in Glasfilterscheiben für Farbfernsehgeräte zur besseren Helligkeit und zum schärferen Kontrast des Bildes bei.
- d3 Neodymium dient in Schutzbrillen (mit Pr) zur Absorption der Wärmestrahlung und der Gelbkomponente im Licht (197).
- d4 Nd wird zur Herstellung bestimmter Laser herangezogen, z.B. für die in der Mikroschweißtechnik eingesetzten Glaslaser oder für YAG-Laserstäbe, die mit 1-1,2% Nd versetzt werden (184).
- d5 Das Oxid findet sich in elektrotechnischer Keramik (für Widerstände und Kondensatoren) (185) (242).
- d6 Nd wird in ähnlicher Weise wie Di insbesondere in der Mg-Metallurgie eingesetzt; so erhöht es die Warmfestigkeit von Mg-Legierungen.
- d7 $NdCl_3$ und Nd_2O_3 zieht man für die Polymerisation von Estern heran.
- d8 Ähnlich wie La eignet sich Nd als $NdCoO_3$ für die Katalyse der Kraftstoffnachverbrennung in Kfz-Motoren (219).

e. Promethium (Pm)

Das instabile Pm ist schwer verfügbar (vgl.: S.192) und ist schon deshalb ohne kommerzielle Verwendungsgebiete.

- e1 Man kann es als langwellige Röntgenstrahlquelle nutzen.
- e2 In Leuchtstoffen für Uhrenziffernblätter ist es weniger gefährlich als das derzeit verwendete Sr-90.

f. Samarium (Sm)

- f1 SmCo_5 und $\text{Sm}_{0,5}\text{Pr}_{0,5}\text{Co}_5$ sind neue Permanentmagnetwerkstoffe mit den höchsten bekannten max.Koerzitivkräften, bis zu 23,1 MG.Oe (194) (203) (245).
- f2 Manche elektrotechnischen Keramikwerkstoffe enthalten Sm_2O_3 (223).
- f3 Infolge seines nach Gd größten Neutroneneinfangquerschnittes (vgl.:Tab.20) setzt man Sm in Regelstäben von Kernreaktoren ein (233).
- f4 Das Oxid kann Gläsern beigegeben werden, um der Infrarotabsorption zu verstärken.
- f5 Hochtemperaturschutzbeschläge enthalten oft Sm-Zusätze.

g. Europium (Eu)

- g1 Seine mit Abstand bedeutendste Verwendung hat es in Oxidform als Aktivator der kathodolumineszenten Rotleuchtstoffe (auf Y- oder Gd-Basis) für Farbfernsehbildröhren (201) (231). Ca.1 g/Gerät wird verbraucht.
- g2 Der Y-Orthovanadat-Rotleuchtstoff mit Eu_2O_3 wird außerdem in Hochdruck-Quecksilberdampflampen eingesetzt, um die Lichtemission von Straßen-, Industrie- und Auslagenbeleuchtungen natürlicher erscheinen zu lassen.
- g3 Mit Eu/Y versehene Fluoreszenzlampen geben helleren Schein.
- g4 Eu-aktivierte SrPO_4 -Leuchtstoffe arbeiten in den Lampen von Photokopiermaschinen.
- g5 Eu_2O_3 - in Zusätzen bis zu 0,3% - bildet phototropische Gläser, die sich bei UV-Einstrahlung amethyst einfärben. Da solche Gläser zugleich Neutronen absorbieren, sind sie auch für die Kerntechnik von Interesse (235).
- g6 Die Eigenschaft des Eu, fünf Isotope mit großen Neutroneneinfangquerschnitten zu besitzen, hat es zu einem favorisierten Element für den Einsatz in Regelstäben für Kernreaktoren werden lassen (vgl.:Tab.20). Darüber hinaus wird es zur Flußabflachung den Enden der Kernbrennstoffe zugesetzt (217) (225) (233).

Tab.20: Einfangquerschnitte für thermische Neutronen (barn/Atom) (aus:Goldschmidt informiert 1,6,1969)

Y	1,27	Gd	46.000
La	8,9	Tb	44
Ce	0,70	Dy	1.100
Pr	11,2	Ho	64
Nd	46	Er	166
Pm	-	Tm	118
Sm	5.500	Yb	86
Eu	4.600	Lu	103

h. Gadolinium (Gd)

- h1 Gd-Fe- und Gd-Al-Garnets (GIG, GAG) werden als Mikrowellenfilter benutzt. Y-Fe-Garnets (YIG) für ähnliche Zwecke erhalten Gd-Zusätze zur Erhöhung der Temperaturbeständigkeit.
- h2 In den Rotleuchtstoffen für Farbfernsehbildröhren kann Gd_2O_3 und Gd_2O_2S die Y-Basis z.T. ersetzen (224)(251).
- h3 Das Oxisulfid dient auch als Leuchtstoff für Kathodenstrahlröhren (178) und auf Röntgenbildschirmen zur Intensivierung des Bildes (2-3-fach höhere Absorption als das konkurrierende (Cd,Zn)S).
- h4 Das Oxid wird auch für elektronische Keramik und Ferrite verwendet.
- h5 Gd besitzt den höchsten bekannten Einfangquerschnitt für thermische Neutronen (vgl.:Tab.20,S.175). Daher wird es in oxidischer Form den Abschalteneinrichtungen von Kernreaktoren beigemischt. Man verwendet es auch in Regelstäben und abbrennbaren Giften (225) (233).
- h6 Gd wird auch für hochwirksame Strahlenschutzschilde und für Strahlenschutzkleidung benutzt.

i. Die schweren Lanthaniden (Tb)(Dy)(Ho)(Er)(Tm)(Yb)(Lu)

Fast alle finden in mehr oder weniger unbedeutender Menge Einsatz in Lasern und Lasern (meist als Aktivatoren), als Leuchtstoffe, in der Elektrotechnik (Halbleiter, Cermets) sowie als Katalysatoren von eng begrenztem Wirkungsbereich (z.B. Yb zur Polymerisation von Äthylen oder Dy und Lu zur Decarboxylierung).

Insbesondere seien hervorgehoben:

- i1 Tb aktiviert die verschiedensten Leuchtstoffe für Kathodenstrahlröhren (231) u.Röntgenbildschirme (179).
- i2 Dy wird in der Reaktortechnik für Strahlenschutz zwecke und in abbrennbaren Giften eingesetzt. Ferner als Zusatz in Regelstäben, oft in Form von Pyrophosphaten.
- i3 Dy und Er werden als Additive für Fe-Cr-Legierungen genommen.
- i4 Ho- und Er-gedoppte Laser emittieren augenschonendes Licht (180).
- i5 Ho, Er, Tm und Yb dienen als Aktivatoren für Leuchtstoffe, die Infrarotstrahlung sichtbar machen (220).
- i6 Ho, Er, Tm, Yb und Lu gibt es in Orthoferriten für spezielle Funktionen in der Computertechnik.
- i7 Er wird (meist als Pyrophosphat) für Regelstäbe und mit UO_2 gemischt als "brennbarer Absorber" verwendet (233).
- i8 Das System ErH_3/H_2 wird zur exakten Unterdruckmessung für den Bereich von 10^{-4} bis 10^{-11} Torr benutzt.

i9 Yb-Titanat nimmt man für spezielle Widerstände.

i10 Lu-Fe-Garnets dienen als Mikrowellenfilter.

j. Yttrium (Y)

j1 Seine Hauptverwendung hat Y in Form des Sesquioxids, Oxisulfids oder Orthovanadats als Eu-aktivierter Rotleuchtstoff für Farbfernsehbildröhren (201)(231)(251). 10-15g/Gerät werden gebraucht.

j2 Die genannten Leuchtstoffe finden ferner Verwendung in Fluoreszenzlampen und Quecksilberdampflampen, wo sie für helleres und natürlicheres Licht sorgen.

j3 YF_3 wird für Leuchtstoffbeschichtungen benutzt, die Infrarotstrahlung sichtbar machen (220). In anderen Verbindungen dient es als Leuchtstoff für Kathodenstrahlröhren (231).

j4 Y-Fe-Garnets (YIG), polykristallin und in Einzelkristallen bis über 250g, werden als isolierendes magnetisches Material in Lasern, als Mikrowellenfilter und zur Frequenzstandardisierung verwendet.

j5 Y-Al-Garnets (YAG) nimmt man ebenfalls für Laser (184) und in der Fernsehtechnik zu Modulationszwecken.

j6 YAG ist auf Grund seiner Härte (8,5 n.Mohs), der Farblosigkeit und hoher Lichtbrechung auch als diamantähnlicher Schmuckstein gefragt (174).

j7 Y_2O_3 gibt es in elektronischer Keramik und Ferriten.

j8 90% Y_2O_3 bildet mit 10% ThO_2 eine durchsichtige, feste Lösung mit einem Schmelzpunkt von 2200°C ("Yttralox"). Sie wird z.B. für Fenster von Hochtemperaturöfen, für Mikroskoplinsen zum Studium von Schmelzvorgängen und in Lasermaterialien verwendet.

j9 Das Oxid in Verbindung mit den Oxiden von Zr und V nimmt man zum Färben von Keramik (orange).

j10 In Tiegel aus Y_2O_3 wird UO_2 zu Metall reduziert.

j11 Y-Zusätze verbessern die Kaltverarbeitung von Niob und Tantal sowie die Oxydationsresistenz von Kupfer, ohne dessen Leitfähigkeit zu beeinträchtigen.

j12 Die Oxydationsresistenz von FeCrAl-Legierungen wird ebenfalls durch 0,15-0,25 Gew-% Y besorgt.

j13 Als Neutronenabsorber vorgesehene Wolframbeschußplatten werden mit Y beschichtet.

j14 Als Hydrid und gegebenenfalls legiert mit Zr stellt es einen guten Wasserstoffträger auch unter hohen Temperaturen dar und wird deshalb in der Reaktortechnik für Abschirmungen und feste Moderatoren herangezogen.

j15 Y-Zusätze nimmt man zur Stabilisierung der kubischen ZrO_2 -Modifikation, um damit die Verlängerung der Lebensdauer feuerfester Baustoffe zu erreichen (196)(239).

V. PREISBESTIMMUNGSGRÜNDE AUF DEN MÄRKTEN DER S.E.

V,1 DIE DETERMINANTEN AUF DEN VORSTOFFMÄRKTEN

V,1,1 Die Grundlagen

Die Seltenen Erden gehören nicht zu den Börsenmetallen. So muß sich die Betrachtung der Preisentwicklungen auf die unregelmäßig erscheinenden Angaben über Marktpreise sowie auf offizielle, in Listenform veröffentlichte Produzentenpreise beschränken. Von den selteneren mineralischen Rohstoffen wie Xenotim, Euxenit u.a. liegen - wenn überhaupt - nur vereinzelt Angaben vor, die eine Stellungnahme zur Preisentwicklung nicht gestatten. Ähnlich sieht die Situation bei den wichtigen Rohstoffen Ceritchlorid und andere Ceritverbindungen aus.

Erfreulicher ist das Bild bei den beiden bedeutendsten Rohstoffen Bastnäsit und Monazit. In Bezug auf Bastnäsit herrscht über die von der Karonge-Mine für ihr Konzentrat in der Zeit von 1948-57 erzielten Verkaufspreise in groben Zügen Klarheit (vgl. THOREAU u.a.(118)). Nach einer Dokumentationslücke von 8 Jahren kann der Preisverlauf ab 1966 weiter verfolgt werden. Von da an begann die Molybdenum Corp. ihre Abgabepreise für Bastnäsitkonzentrate in ihre Preislisten aufzunehmen.

Für Monazit ist die Informationsdichte höher. Gut dokumentiert sind vor allem die Importpreise für Monazitkonzentrate (meist australischer Herkunft) auf dem Londoner Markt. Daten darüber finden sich in unregelmäßiger Folge im Mining Journal, im Mining Annual Review und auch in den neueren Ausgaben des Minerals Yearbook (299). Dem ist auch der vom US Bureau of Census erhobene Gesamtwert der Jahresmonazitimporte der USA entnommen, der seit 1961 veröffentlicht wird. Daneben erscheinen im Engineering & Mining Journal, Minerals & Metals Market, regelmäßig relativ starre Notierungen, die - gemessen an den anderen verfügbaren Daten - offenbar am Markt vorbei festgelegt wurden, indem sie dessen Preisbewegungen ignorieren oder ihnen sogar zuwider-

laufen (vgl. Abb. 41). Sie sind für die Analyse nicht berücksichtigt worden.

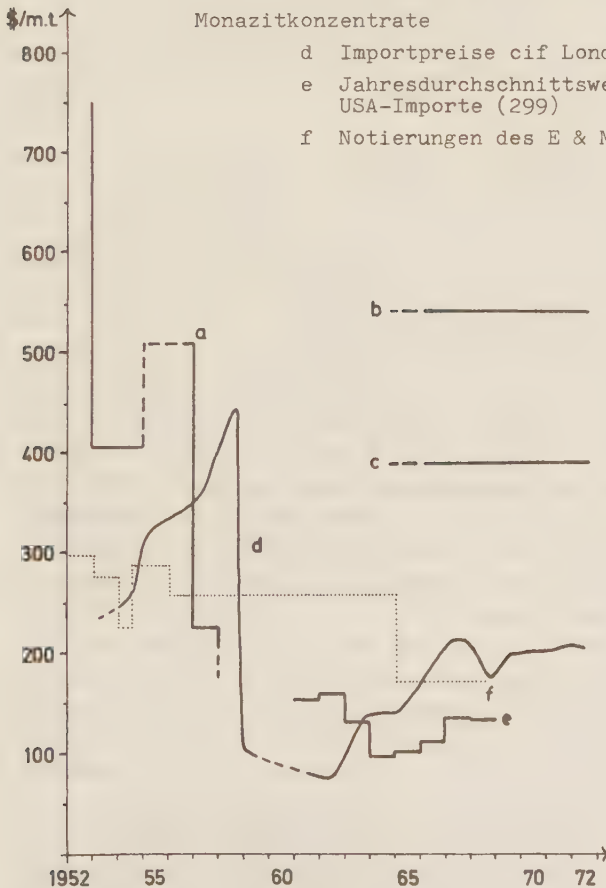
Abb. 41: Die Entwicklung der Vorstoffpreise.

Bastnäsitkonzentrate

- a Karonge, ca. 60% S.E.-Oxide,
fob europ. Hafen (118)
- b 68-72% } fob Mountain Pass; (price
- c 55-60% } schedule MP 7-254u.255)

Monazitkonzentrate

- d Importpreise cif London
- e Jahresdurchschnittswert der
USA-Importe (299)
- f Notierungen des E & MJ



Auf einem vollkommenen Markt ist ein freier Marktpreis das Ergebnis aus dem Aufeinandertreffen von Angebot und Nachfrage. Die Märkte der Seltenen Erden sind - wie alle realen Märkte - unvollkommene, d.h. mit unterschiedlichen Präferenzen ausgestattete, nicht transparente, wettbewerbsverzerrte Märkte. Die Erfahrung zeigt, daß die Preisbildung auch in diesen Fällen von Angebot und Nachfrage grundlegend bestimmt wird, sofern auf keiner Seite ein vollständiges Monopol herrscht - was für die Seltenen Erden konzidiert werden kann. Preisbestimmungsgründe sind deshalb in erster Linie von den Bestimmungsgründen für die Angebots- und Nachfragemengen abhängig.

Als Anbieter fungieren zunächst die Produzenten, auf den Vorstoffmärkten also die einschlägigen Bergbaubetriebe; als Nachfrager die Verbraucher, hier die chemischen Verarbeitungsbetriebe (Hütten). Es ist jedoch zu beachten, daß sich die Angebotsmenge von der tatsächlichen Produktion, bzw. die Nachfragemenge vom tatsächlichen Verbrauch durch die Veränderungen der kommerziellen und strategischen Lagerhaltung unterscheiden kann. Beispielsweise können die Verwaltungen staatlicher Vorratslager zusätzlich als Nachfrager oder Anbieter in Erscheinung treten, ebenso wie die Verbraucher durch Abgaben aus ihren Rohstofflagern zeitweilig als Anbieter auftreten. Genaue Daten darüber sind für die Seltenen Erden nicht verfügbar und wohl auch nicht erhoben worden. Allerdings erlauben die Veröffentlichungen des US Bureau of Mines einen recht brauchbaren Einblick in die diesbezüglichen Zusammenhänge des US-amerikanischen Marktes. Das ist insofern von Bedeutung, als aus den USA nach dem Kriege mit wenigen Unterbrechungen stets mehr als die Hälfte der jährlichen Gesamtnachfrage nach S.E.-Vorstoffen kam und mit der Molybdenum Corp. seit 1966 ein US-amerikanischer Angebotsmonopolist auf dem Weltmarkt für Vorstoffe der Ceriterden existiert (vgl.S.185). Das unterstreicht die Bedeutung des amerikanischen Marktes, aufgrund der angenommen werden kann, daß seine Kausalitäten qualitativ auch auf den Weltmarkt übertragbar sind. Als Interpretationsbasis dient die in Abb.42 dargestellte Datensammlung. Darin repräsentiert die

jeweils linke Säule die Vorstoffsfeinkäufe aller amerikanischen Abnehmer. Sie wurden ermittelt aus:

- den Importen,
- den Lieferungen der im Inland tätigen Produzenten abzüglich ihrer Exporte,
- den Inlandsverkäufen aus den staatlichen Vorräten durch die General Service Administration.

Die rechte Säule setzt sich aus dem tatsächlichen industriellen Grundstoffverbrauch der USA zusammen, aufgestockt um den Grundstoff-Exportüberschuß⁺ und durch die Rohstoffaufkäufe der GSA (die auch in der linken Säule enthalten sind).

Diese Anordnung erlaubt Rückschlüsse auf die Lagerhaltung der amerikanischen Hütten, die sich mit gewissen Einschränkungen (z.B. die Dispositionen des allerdings nur gelegentlich begrenzte Bedeutung erlangenden Zwischenhandels) aus der Differenz beider Säulen ablesen läßt.

Der überwiegende Teil des Zahlenmaterials entstammt Veröffentlichungen des US Bureau of Mines (299)(300); ein kleiner Teil sind eigene Schätzungen auf der Basis qualitativer und semiquantitativer Angaben. Alles ist in S.E.-Oxid-Äquivalente umgerechnet worden, um die Vergleichbarkeit zu ermöglichen.

Abb.42: Lagerbestände bei den Hütten der USA.



⁺1956, '57, '58 und evtl. '65 dürfte sich ein Importüberschuß realisiert haben, der jedoch vernachlässigbar gering blieb.

Mit Unterstützung der in den beiden Abbildungen (41,42) dargestellten Daten soll chronologisch anhand der charakteristischen Züge der Preisentwicklung eine Beurteilung der Preisbestimmung auf den Vorstoffmärkten der Seltenen Erden versucht werden.

V,1,2 Der Ceriterdensektor

Über 97% des Vorstoffangebots auf dem Ceriterdensektor besteht aus Monazit- und Bastnäsitkonzentraten i.w.S. Beide Minerale haben eine ähnliche Zusammensetzung (vgl. Abb.6+7,S.15) und sind daher mit Einschränkungen untereinander substituierbar, so daß sie miteinander konkurrieren. Neben den Einflüssen der Nachfrage muß den Auswirkungen dieser Konkurrenzbeziehung auf das Preisbild beider besondere Beachtung entgegengebracht werden, wobei nicht nur die qualitativen Unterschiede der Minerale selbst, sondern auch ihre Marktformen berücksichtigt werden müssen. -

In den fünfziger Jahren bis in die erste Hälfte von 1958 hinein war ein ziemlich steiler Preisanstieg für Monazitkonzentrate zu verzeichnen, dem zur selben Zeit ein Preisverfall für Bastnäsit gegenüberstand. Diese widersprüchlich erscheinende Entwicklung ist bereits auf die Unterschiede ihrer Zusammensetzung zurückzuführen. So enthalten die kommerziellen Monazitkonzentrate neben den Seltenen Erden bekanntlich einen substantiellen Thoriumanteil, der dem Bastnäsit fehlt. Tatsächlich ist der bis 1958 anhaltende scheinbare Nachfrageanstieg für Vorstoffe der Seltenen Erden (vgl. Abb.42) ein Nachfrageboom für Thoriumrohstoffe. Das Element gewann damals erhebliche Bedeutung als potentieller Kernbrennstoff und strategisch wichtiges Legierungsmetall. Die Industrieländer stockten ihre nationalen Th-Vorräte beträchtlich auf. Die GSA der USA hatte gleich drei Vorratslager zu versorgen:

- den "National (Strategic) Stockpile" (auf der Grundlage des "Strategic and Critical Materials Stock Piling Act" von 1946)
- den "Defense Production Act Inventory" ("Defense Production Act of 1950")

-den "Supplemental Stockpile" (Agricultural Development and Assistance Act of 1954")

Auswirkungen dieser staatlichen Rohstoffpolitik waren auf der einen Seite das Ansteigen der Monazitpreise, auf der anderen Seite ein Überangebot der bei der Th-Gewinnung anfallenden Nebenprodukte "Seltene Erden", welche nur zum Teil in die nationalen Vorräte mitübernommen wurden. Demzufolge stellte sich für den ausschließlichen S.E.-Vorstoff Bastnäsit dieser ungewöhnliche Preisverfall ein, der die Karonge-Mine 1958 zur Einstellung ihrer Produktion zwang.

Im weiteren Verlauf des Jahres 1958 ließen sich auch die Monazitkonzentrate nur noch mit beträchtlichen Erlöseinbussen verkaufen.⁺ Auslösend war die Ankündigung des baldigen Abschlusses der nationalen Th-Beschaffungsprogramme. Damit war die Monazitnachfrage plötzlich nur noch auf den Bedarf der S.E.-Industrie beschränkt, wobei das Angebot auf kaum mehr aufnahmefähige Märkte stieß. Denn die Vorratslager der Hütten waren gefüllt; in den USA dürften sich zwischen 7000 und 9000 sht an S.E.-Rohstoffen bis Ende 1958 bei den Arbeitern angehäuft haben, d.i. das Vier- bis Fünffache des damaligen industriellen Endverbrauchs des Landes.

Die dadurch stark beeinträchtigte Nachfrage kann für das ganze Ausmaß des Preisverfalls allerdings nicht allein verantwortlich gemacht werden. Eine wesentliche Rolle bei der Preisbildung kam der Struktur der Angebotsseite zu. Wird ein umfangreicher Teil des Angebots aus Nebenprodukten bestritten, wirkt sich das bei angespannter Marktlage zusätzlich preisdynamisierend aus. Denn die einschlägigen Produzenten sind bestrebt, ihr Angebot mengenmäßig nur dann zu reduzieren, wenn entweder der erzielte Preis nicht mehr die i.a. geringen Mehrkosten für Gewinnung (vgl.S.118) und Vertrieb des Nebenprodukts zu decken verspricht oder die Marktlage kurz- bis mittelfristig deutlich höhere Gewinne erwarten läßt. Umgekehrt verstärkt sich der Preisanstieg bei anwachsender Nachfrage, weil es diesen Produzenten aus technischen Zwangsläufigkeiten gewöhnlich nicht gelingt, ihre Nebenproduktgewinnung den steigenden Marktanforderun-

⁺London: der Importpreis fiel Ende 1958 auf 25% des Jahresanfangsstandes zurück (vgl.Abb.41).

gen anzugleichen. Dieser Effekt verstärkt sich mit zunehmendem Anteil der Nebenprodukte am Gesamtrohstoffaufkommen. Auf dem Ceriterdensektor betrug ihr Anteil während der fünfziger Jahre durchschnittlich etwa 60%.

Die Unternehmen, die S.E.-Vorstoffe als Hauptprodukt vertrieben, waren nicht fähig, bei schwachen Marktbedingungen den Nebenprodukterzeugern preislich Konkurrenz zu machen. Sie verhielten sich mengenanpassend und spätestens als die Nachfrage so weit absank, daß sie aus der Nebenproduktion voll befriedigt werden konnte, gaben sie auf.

So stellte nach Karonge auch die Monazitgrube Steenkamp's Kraal, die zeitweise über 40% des Weltvorstoffangebots bestritt, Ende 1959 ihre Produktion vorübergehend ein.

Bis 1962 hatten sich die Lagerbestände der amerikanischen Hütten auf vielleicht 5000 sht S.E.-Oxide verringert, was bei Maßgabe der Progression des ansteigenden Grundstoffverbrauchs keine zwei Jahre mehr vorgereicht hätte. Das veranlaßte die Hütten, Vorstoffbeschaffungsprogramme, diesmal aber für die Seltenen Erden in Angriff zu nehmen. Ein zusätzliches Stimulans lag in dem zu jener Zeit extrem niedrigen Preisniveau für die in Frage kommenden Vorstoffe (vgl. Abb.41).

Dadurch überstieg die Vorstoffnachfrage das aus der Nebenproduktion zur Verfügung stehende Angebot wieder erheblich und die Preise zogen an. Steenkamp's Kraal nahm die Produktion wieder auf (1962 auf der Basis eines umfangreichen Kontrakts mit der American Potash & Chemical Corp.). Bemerkenswert daran ist, daß die Mine einen Preis aushandeln konnte, der ca. 100% über dem Satz lag, der zur gleichen Zeit auf dem Londoner Markt für die mindestens gleichwertigen australischen Monazitkonzentrate bezahlt wurde⁺. Daraus wird eine Größenordnung erkennbar, in welcher der Preisverfall für Monazit von 1958 hätte zum Stillstand gebracht werden können, wenn die Angebotsmenge aus der Nebenproduktion für die Befriedigung des Bedarfs nicht ausgereicht hätte. Denn den Nebenproduzenten scheint der

⁺ "massive monazite" aus Steenkamp's Kraal wurde 1962 für \$ 166/t verkauft. Monazitsandkonzentrate kosteten in London umgerechnet um \$ 80/t.

möglichst rasche und problemlose Absatz ihrer Nebenprodukte offenbar wichtiger, als den Einsatz aufzuwenden, der für die Erzielung des besten Preises nötig wäre.

Aus dieser Preisdifferenz zwischen dem südafrikanischen "massive monazite" und den Monazitsandkonzentraten resultiert auch die gegenläufige Wertentwicklung der amerikanischen und britischen Importe von 1962-64. Die Anteile des "massive monazite" an den S.E.-Vortoffimporten der USA entwickelten sich während des genannten Zeitraums rückläufig (1962: 83 Gew.-%; 1963: 75% und 1964 nichts mehr), so daß infolge seiner sehr hohen Bewertung auch der durchschnittliche Importwert sank, obwohl die Monazitsandkonzentrate stetig teurer geworden waren.

Ab 1964, nach Aufstockung der Lagerbestände der Hütten, sank die Nachfrage auf ein Normalmaß zurück und die Preise stagnierten bis in die Anfänge von 1965 hinein. Wie bereits erwähnt, tat sich zu dieser Zeit ein vielversprechender Absatzmarkt für die beiden Grundstoffe Eu_2O_3 und Y_2O_3 auf (vgl.S.166). Die Kapazitäten für die Erzeugung der beiden Oxide mußten erheblich ausgebaut werden, so daß die Auswirkungen der neuen Entwicklung auf den Vorstoffbeschaffungsmärkten erst mit Fertigstellung der neuen Betriebseinheiten 1965 und '66 voll zu spüren waren. Als besonders rohstoffintensiv erwies sich die Herstellung des seltenen Eu_2O_3 , so daß der Vorstoffbedarf übermäßig anstieg und die Vorstoffpreise wieder zu klettern begannen.

Die 1962 abermals geschlossene südafrikanische Monazitmine war nicht mehr im Stande wiederzueröffnen. Der Mehrbedarf wurde von der Molybdenum Corp. aus ihrer Mountain Pass Bastnäsitmine abgedeckt. Auch Karonge nahm 1965 die Bastnäsitproduktion kleineren Maßstabs wieder auf, ohne die Monopolstellung der Molycorp gefährden zu können, die sich zahlenmäßig wie folgt ausdrückt:

- Anteil an der Weltproduktion für Vorstoffe der Ceriterden: seit 1966 jährlich ca. 50% bis über 60%.
- Anteil am verfügbaren Angebot für Vorstoffe der Ceriterden: seit 1966 ca. 25-30% (der Wert liegt niedriger, weil ein großer Teil der Produktion (50-70%) vom Unternehmen selbst weiterverarbeitet wird)

Begünstigt wurde die einsetzende Vormachtstellung des Bastnäsits durch seine relativ hohen Eu-Gehalte (0,11-0,12%; dagegen Monazit: 0,05-0,1%). Weil die Hütten die Beiprodukte der Eu-Gewinnung - wertvolle Zwischenprodukte und Grundstoffe - nur teilweise absetzen konnten, war es von erheblicher ökonomischer Bedeutung, ob man für die Erzeugung von beispielsweise 1 kg Eu_2O_3 ca. 1 oder 2 t an Beiprodukten erhält!

Die Vorzüge des Bastnäsits (höherer S.E.-Gehalt und Eu-Anteil und leichtere Verarbeitbarkeit als Monazit) in Verbindung mit dem Angebotsmonopol bestimmten das Preisbild für den Vorstoff. So lag der Produzentenpreis für Bastnäsitkonzentrat seit 1966 um rund 100% über den Notierungen für Monazit (vgl. Abb. 41).

Ab Mitte 1967 mußten Preiseinbußen für Monazitkonzentrate hingenommen werden. Die Ursachen waren im Abschwächen des Eu/Y-Marktes zu sehen und darin, daß erhebliche Lagerbestände an Grundstoffen und Zwischenprodukten aufgelaufen waren. Zwar gelang es den Hütten, durch gezielte Absatzpolitik die Nachfrage auch für diese Produkte beträchtlich und stetig anzuheben, doch wirkte sich das auf dem Vorstoffsektor erst 1969 preisstabilisierend aus. Daß sich angesichts dieser Grundsituation kein Preisverfall des Ausmaßes von 1958 ereignete, hing entscheidend davon ab, daß die abgeschwächte Vorstoffnachfrage dennoch auf einem Niveau verblieb, welches weit über der Angebotsmenge aus der Nebenproduktgewinnung lag. Dadurch blieb die Führungsstellung der Molybdenum Corp. wirksam und erlaubte ihr, sich preisfixierend zu verhalten.

Bis heute⁺ sind ihre Listenpreise für Bastnäsitkonzentrate konstant gehalten worden, wobei es als sicher gelten darf, daß die nominell starren Preise unerschwerlich durch wechselnde Konditionen in den Kontraktabschlüssen den unterschiedlichen Marktbedingungen angepaßt werden. Dennoch führte die Fixierung zu einer allgemeinen Abschwächung der Preisbewegungen für alle Vorstoffe der Ceriterden.

⁺ Stand: September 1972

V,1,3 Die Lage bei den Yttererden

Der Markt für Yttererdevorstoffe kann infolge der Unkenntnis der Preisentwicklung nicht näher untersucht werden. Mit Sicherheit erlebte er die erste größere Belebung zur Zeit des Eu/Y-Booms. Zwar konnte die erhöhte Nachfrage zu einem wesentlichen Teil aus dem Monazitangebot befriedigt werden; einen wichtigen Beitrag lieferten aber auch die neu erschlossenen Quellen (vgl.S.122 u.124). Mit Übersättigung des Y-Marktes fielen die Rohstoffpreise. Die primär Yttererdevorstoffe anbietenden Unternehmen und die kostenintensiveren Betriebe der chemischen Nebengewinnung kamen gegen die Konkurrenz der Nebenprodukte aus Seifenlagerstätten (Monazit, Xenotim, Euxenit) nicht länger an. 1969 stellte die Rio Algom Mines Ltd. die Produktion von Y-Konzentraten vorübergehend ein; ebenfalls 1969 machte Bou Naga zu. Beide harren günstigerer Marktbedingungen. Denison Mines Ltd. und Stanrock Mines Ltd. arbeiten mit geringer Kapazitätsauslastung weiter und sind möglicherweise nur aufgrund langfristiger Lieferverträge noch in Betrieb.

V,1,4 Fazit

Die rückblickende Wertung der Determinanten für die Preisbildung auf den Vorstoffmärkten der Seltenen Erden muß als erstes die maßgeblichen Einflüsse der Verbraucherseite hervorheben. Aktionen und Reaktionen der Vorstoffverarbeitungsindustrie gaben stets die entscheidenden Impulse für die Preisbewegungen.

Es hat sich aber auch gezeigt, daß das graduelle Ausmaß der Bewegungen wesentlich von der Angebotsstruktur mitgestaltet wurde. Dabei waren nicht nur die Marktmorphologie, sondern auch bestimmte qualitative, oft relativ geringfügig erscheinende Unterschiede in der Vorstoffzusammensetzung von deterministischer Relevanz für die Preisbildung.

V,2 PREISBESTIMMUNGSGRÜNDE AUF DEM GRUNDSTOFFSEKTOR

V,2,1 Die Beziehung der Grundstoffpreise zu den Vorstoffkosten

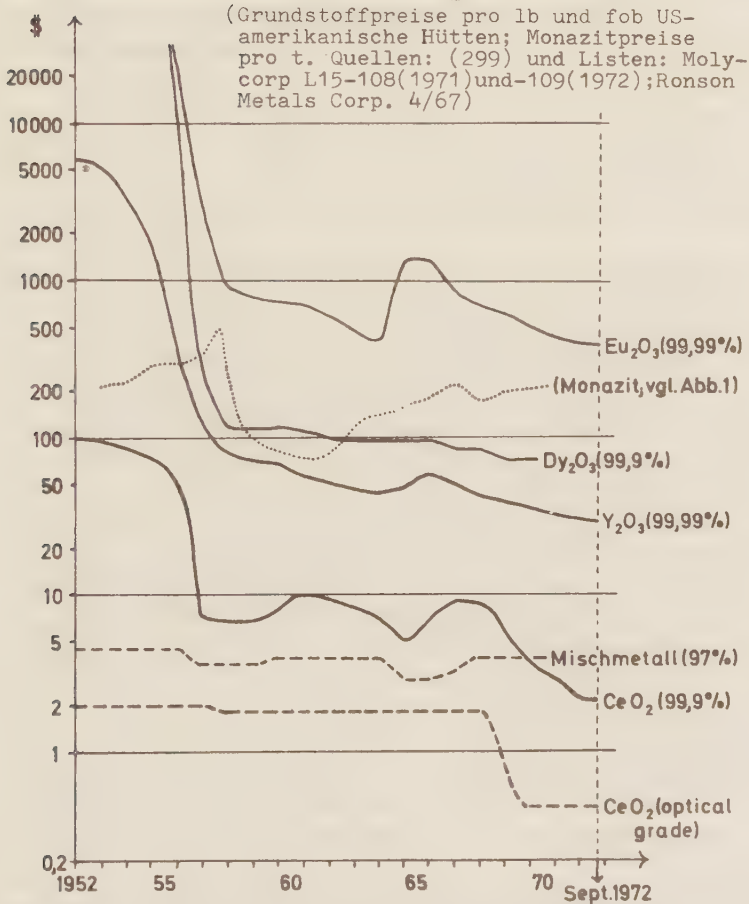
Aus einer short ton Bastnäsitkonzentrat mit 60% S.E.-Oxiden kann man beispielsweise an reinen Oxiden (min. 99,9%) gewinnen (ca. 12% Produktionsverlust hoch mit einkalkuliert: 330 lb La_2O_3 , 500 lb CeO_2 , 40 lb Pr_6O_{11} , 110 lb Nd_2O_3 , 5 lb Sm_2O_3 , 1 lb Eu_2O_3 , 2 lb Gd_2O_3 , 1 lb Y_2O_3 und nochmals 1 lb der restlichen Oxide der Yttererden. Legt man die auf S.161 wiedergegebenen Abgabepreise zugrunde, ließe sich damit ein Gesamterlös von ca. \$ 6250 erzielen. Die dafür mit \$ 420 zu Buche stehenden Vorstoffkosten beanspruchten mithin knapp 7% vom Verkaufsertrag; für Monazit errechnet sich der Anteil sogar nur auf ca. 2,5%!

Freilich muß bedacht sein, daß der größte Teil des Vorstoffangebots (knapp 80%) für die Herstellung nicht oder partiell separierter Grundstoffe verbraucht wird. Beim Mischmetall, daß derzeit etwa \$ 3,60/lb kostet, machen die Vorstoffkosten bereits 6% (Monazit) bis 11% (Bastnäsit) des Verkaufserlöses aus. Im Falle des Ceroxid-Polierpulvers für etwa \$ 1,90/lb zu haben, erreicht der Anteil beim Bastnäsit bereits die 20%-Grenze.

Generell erreicht der Verkaufserlös für die aus einer Vorstoffeinheit gewonnenen Grundstoffprodukte das Fünf- bis Zwanzigfache des von den Hütten aufgewendeten Betrags für die Beschaffung des Vorstoffs. Damit wird eine hohe Bruttowertschöpfung erzielt, die erwarten läßt, daß die Preisentwicklung der Grundstoffe weitgehend unabhängig von dem Preisgeschehen auf den Vorstoffmärkten abläuft. Eine vergleichende Übersicht gibt Abb.43. Darin wird die Eigenständigkeit der Preisentwicklungen beider Rohstoffarten veranschaulicht (S.189).

Bei genauerer Betrachtung erweisen sich die z.T. konformen Verläufe von 1958 und 1964-67 ebenfalls als nicht kausal bedingt. So ist der mit den Verhältnissen auf dem Vorstoffsektor übereinstimmende Preiseinbruch für die reinen Grund-

Abb.43: Die Preisentwicklung ausgewählter Grundstoffe.



stoffe von 1958 die Fortsetzung eines Trends, der bereits 1956 einsetzte und mit der industriellen Einführung der neu entwickelten, kostengünstiger arbeitenden Reindarstellungungsverfahren in einem Zusammenhang gesehen werden muß. Der begrenzt gleichsinnige Verlauf ist folglich zufällig. Auch die Tatsache, daß die von den Preisbewegungen natür-

lich unerfaßt gebliebenen nicht oder partiell getrennten Produkte damals immerhin gut 90% der Gesamtproduktion beanspruchten, untermauert die fehlende Beziehung zu den Vorstoffkosten.

V,2,2 Preisdeteminanten der Angebotsseite

V,2,2,1 Die Preissenkungen Ende der fünfziger Jahre

Wie erwähnt, waren die Preise für reine Grundstoffe ab mitte der fünfziger Jahre ganz erheblich (z.T. um zwei bis drei Zehnerpotenzen!) zurückgenommen worden (vgl.: Abb.43). Der Tatsache, daß nur separierte Grundstoffe davon betroffen waren, ist zu entnehmen, daß der Vorgang auf die zur gleichen Zeit ablaufende betriebliche Einführung der neuen Separationstechniken zurückgeführt werden muß. Das Ionenaustauschverfahren und Jahre später auch die Lösungsmittlextraktion lösten die aufwendigen Verfahren fraktionierte Fällung und Kristallisation ab. Die vor allem zeit- aber auch arbeitsintensive Separation mit den überkommenen Techniken mochte die bis dahin äusserst hohe Bewertung der reinen Seltenen Erden rechtfertigen, zumal der Durchsatz gering blieb. Freilich bestand keine Veranlassung, den Ausstoß zu erhöhen, da für die reinen Produkte - eben weil sie so teuer waren - keine kommerziellen Verwendungen existierten. Diesem "Teufelskreis" zu entinnen gelang erst, nachdem die neuen Techniken eine beträchtlich kostengünstigere Reindarstellung erlaubten.

Die Zeiteinsparungen im Produktionsprozeß (besonders bei den Solventverfahren) führten zu einer höheren Umsatzgeschwindigkeit, folglich zu einem verminderten Fremdkapitalbedarf bei zugleich höherer Liquidität der Unternehmen. Die dadurch leichter realisierbaren Erweiterungen der Produktionskapazitäten in Gemeinschaft mit den ohnehin für größere Durchsätze geeigneten Verfahren bedeuteten Rationalisierung und Verringerung der spezifischen Produktionskosten, was zu einer besseren Rentabilität der

Betriebe führte. Die reinen Grundstoffe konnten und mußten billiger angeboten werden.

Der technische Fortschritt betraf die Angebotsseite nicht allein. Die Verbraucher hatten ständig neue Vorschläge über die Verwendungsmöglichkeiten für die getrennten Seltenen Erden zu erwägen. Die Anregungen kamen vorwiegend aus dem tertiären Sektor, indem staatliche Institutionen Grundlagen- und Anwendungsforschung betrieben, initiierten und förderten.

Durch diese Entwicklungen eröffnete sich plötzlich eine neue Perspektive für die Hütten: zusätzlich lohnende Geschäfte auch mit den wertvolleren S.E.-Erzeugnissen. Der Einstieg in die neuen Märkte verlangte allerdings erhebliche Vorleistungen für die erforderlichen apparativen Umrüstungen und den Ausbau der Produktionskapazitäten.

Bereits in diesem Stadium zeigten sich einige Firmen den finanziellen Belastungen nicht gewachsen und waren gezwungen, zu verkaufen, zu fusionieren oder in irgend einer anderen Form sich kapitalkräftigeren Unternehmen anzuschließen. Aus diesen Veränderungen der Marktform und der anfangs nicht den Erwartungen entsprechenden Absatzentwicklung kam es zu einem verschärften Wettbewerb, der in den USA Züge eines Preiskampfes trug und das Ausmaß der Verbilligungen mit beeinflusste. So wurden in dichter Folge revidierte Preislisten von den Konkurrenten veröffentlicht, die z.T. große Unterschiede in der Bewertung vergleichbarer Güter aufwiesen⁺.

Die Härten dieses ruinösen Wettbewerbs gingen ganz zu Lasten der mittleren Betriebe, die dem Konzentrationsprozeß zum Opfer fielen. Bis heute weist der US-amerikanische Markt eine oligopolistische Angebotsstruktur auf, indem neben wenigen großen Anbietern nur Kleinbetriebe bestehen, die begrenzte und spezielle Marktlücken nutzen.

⁺ vgl.: US Bureau of Mines: Minerals Yearbook 1958, 1
S. 891

V,2,2,2 Die Preisabstufungen im Grundstoffangebot

Ganz allgemein gehören die reinen Produkte der getrennten Seltenen Erden, besonders in elementarer Form, trotz der erfolgten Verbilligungen zu den teuren Metallen. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Elementen sind dabei sehr groß.

So rangieren die billigsten, Ce und La, mit \$ 10-30/lb in der Größenordnung vom Silberpreis (1972 um \$ 30/lb). Die teuersten⁺, Sc, Eu, Tm und Lu, werden mit \$ 2000-8000/lb mehrfach höher bewertet als Gold mit ca. \$ 1000/lb und sind sogar teurer als Platin, dessen New Yorker Freimarktpreis in der zweiten Hälfte von 1972 um \$ 140/t.oz., also rund \$ 2000/lb pendelte.

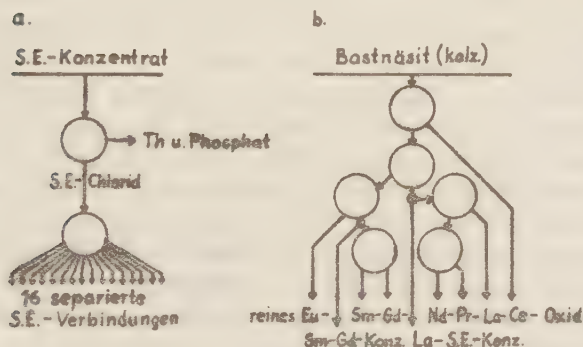
Als Folge des hohen Preisniveaus ist ihre Nachfrage eng begrenzt, wobei die teuersten überhaupt noch keine kommerziellen Verwendungsgebiete besitzen. Man steht also vor dem Sachverhalt, daß für bestimmte Seltenen Erden besonders hohe Preise verlangt werden, obwohl sie mit den anderen im selben Produktionsprozeß entstehen und darüber hinaus noch nicht einmal einen Absatzmarkt besitzen. Von der Nachfrageseite her kann das Problem also nicht angegangen werden. Bei der Betrachtung der Produzentenseite wenden wir uns dem betrieblichen Ablauf der Reindarstellungsverfahren zu.

Wie mehrfach dargelegt, haben sich zwei prinzipiell unterschiedliche Techniken für die Reindarstellung durchgesetzt, die nebeneinander, häufig aber auch miteinander kombiniert eingesetzt werden: der Ionenaustausch und die Lösungsmittelextraktion. Der schematische Ablauf beider Prozesse soll anhand zweier Fließbilder kurz ins Gedächtnis zurückgerufen werden (Abb.44, nächste Seite).

Beim Ionenaustauschverfahren läuft die Zerlegung der eingegebenen Vorstoffe nahezu gleichzeitig ab. Die Endprodukte entstehen nebeneinander, womit eindeutig der Sachverhalt einer Kuppelproduktion gegeben ist, die RIEBEL (281) als "zwangsläufige Entstehung verschiedenartiger Produkte in

⁺Pm, das seltenste Element der S.E., ist radioaktiv und wird nur in Gramm-Mengen bei Kernspaltungsprozessen in Uranreaktoren erzeugt. Preise kennt man kaum; 1962 wurde 1 g mit etwa 15.000 DM bewertet.

Abb.44: Schematisches Fließbild der Reindarstellungsverfahren.
 a. Ionenaustausch
 b. Lösungsmittlextraktion
 (das Verfahren der Molycorp)



einem gemeinsamen Produktionsprozeß⁺ definiert. Aber auch bei der Lösungsmittlextraktion liegt Produktkopplung vor. Denn nach jedem Separationsschritt entstehen die jeweils abgetrennten Produkte neben einem Produkt der gemischten Restfraktion. Ferner muß berücksichtigt werden, daß dieses Flüssig-flüssig-Verfahren mit all seinen nacheinander und parallel ablaufenden Bearbeitungsschritten technologisch und ökonomisch als ein geschlossener Produktionsprozeß konzipiert worden ist und abläuft. Die Endprodukte dieses Prozesses können daher, sofern sie in ihrer Entstehung durch mindestens einen Behandlungsakt voneinander getrennt sind, als "vertikale" Kuppelprodukte aufgefaßt werden.

Betriebe mit Produktkopplung unterliegen spezifischen Problemen, von denen die der Kostenkalkulation weites Interesse gefunden haben, deren Hauptproblem jedoch die Absatzplanung darstellt (vgl.: RIEBEL (281)). Die Schwierigkeiten wurzeln darin, daß die unterschiedliche theoretische

⁺ auf S.

Aufnahmefähigkeit der Absatzmärkte für die Kuppelprodukte mit großer Wahrscheinlichkeit nicht ihrem aus natürlichen oder technischen Zwangsläufigkeiten bei der Produktion entstehenden Mengenverhältnis im Angebot entspricht. Wegen der Hochwertigkeit der Güter leistet es sich kein Unternehmen, einen Teil der S.E.-Produktion zu verwerfen, sondern es wird vielmehr bestrebt sein, die gesamte Produktion möglichst ertragswirksam abzusetzen. Diese auf optimale Stoffverwertung gerichtete Zielsetzung ist nicht nur volkswirtschaftlich sinnvoll - denn eine nach Maßgabe der vorhandenen technischen Möglichkeiten nur unvollständige Nutzung der Rohstoffe wäre Raubbau, den man im Zuge der offenkundiger werdenden Rohstoffverknappung immer weniger wird verantworten können - sondern erscheint auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht vorteilhaft. Folgende Gesichtspunkte spielen dabei eine Rolle:

- Optimale Stoffverwertung verringert die Menge der Abfallprodukte und damit die Kosten für Lagerung und Beseitigung derselben.
- Optimale Stoffverwertung vergrößert die Zahl der Koprodukte⁺⁺, deren Verkaufserlöse zur Kostendeckung beitragen.
- Sie vergrößert die Angebotsbreite, was nicht nur aus Kostengründen, sondern auch wegen der harten oligopolistischen Konkurrenz unter den S.E.-Produzenten von den Unternehmen angestrebt wird, so wie sie ihr Angebot darüber hinaus nach immer neuen Qualitäts-, Zustands- und Formengruppen zu diversifizieren beginnen. Zielsetzung ist hier, durch Anpassung, Beeinflussung und Schaffung von Abhängigkeiten größere Anteile an den Märkten zu erobern oder zu behaupten und den Konkurrenten keinen gewinnträchtigen Bereich allein zu überlassen.

⁺Dieser Punkt wird im Laufe der Zeit immer stärker an Bedeutung gewinnen, da gerade die chemisch arbeitende Industrie mit strengeren und damit teureren Umweltschutzauflagen bei der Abfallstoffbeseitigung wird rechnen müssen.

⁺⁺Es ist hier bewußt der Terminus "Nebenprodukte" vermieden worden, weil im Falle der stoffverwertenden Kuppelproduktion die gesamte Produktion im Blickfeld der ökonomischen Überlegungen steht. Betriebsindividuell mag man an der Ertragswirkung zwischen Neben- und Hauptprodukten unterscheiden.

-- Der noch fehlenden bzw. juvenilen Markteinführung vieler Seltenen Erden steht die hohe Forschungsintensität auf diesem Sektor gegenüber. Sie erarbeitet ständig neue Verwendungsmöglichkeiten, wodurch sich auch für die kommerziell bislang unbeachteten Seltenen Erden kurzzeitig neue Märkte auftun können, was eine dauernde Bereitschaft auf der Produzentenseite erfordert.

Es stellt sich nun die Frage, welche Mittel Betrieben mit Produktkopplung in die Hand gegeben sind, ihr Angebot mit der Nachfrage in Übereinstimmung bringen zu können?

Die Beeinflussung des Mengenverhältnisses der Kuppelprodukte durch geeignete Vorstoffwahl ist gegenwärtig nicht realisierbar, wenn man sich abermals vergegenwärtigt, daß ca. 95% des Vorstoffdargebots aus Monazit und kalifornischem Bastnäsit bestehen. Zumindest im großen Produktionsmaßstab stellt die Rohstoffwahl ein nur minimal wirksames Regulativ dar, weil beide Minerale ja über eine sehr ähnliche S.E.-Verteilung verfügen (vgl.:S.15). Daß selbstverständlich auch der vorhandene Spielraum genutzt wird, zeigte sich während des Eu-Booms, in dem die Hütten sich dem Eu-reicheren Bastnäsit zuwandten.

Für Betriebe mit kleinem Produktionsmaßstab sind die Einflußmöglichkeiten durch Vorstoffwahl grundsätzlich größer, wenngleich immer noch sehr beschränkt. So wird sich zwar das Verhältnis Ceriterden/Yttererden großzügiger verschieben lassen, aber entscheidende Veränderungen für einzelne Elemente oder gar am Oddo-Harkin'schen Verteilungsprinzip sind nicht zu erreichen.

Die nächste Chance, in den Produktionsprozeß regulierend einzugreifen, bietet sich während der Trennungsvorgänge. Beim Ionenaustausch wird der Rohstoff in geeigneter Form in die Austauschersäulen geleitet, durchläuft sie und wird dabei in alle Seltenen Erden zerlegt, die in bestimmter Reihenfolge entnommen werden. Handlungsfreiheit hat man bei der Festlegung von Art und Anzahl der hintereinanderzuschaltenden Aggregate sowie in der Wahl der Betriebs- und Hilfsstoffe. Damit besitzt man Einfluß auf die Prozeßdauer und die Qualität der Endprodukte. Eine verfahrenstechnische Einflußnahme auf das natürlich vorgegebene Men-

genverhältnis der Kuppelprodukte liegt nicht drin. Etwas anders sieht es bei den Flüssig-flüssig-Verfahren aus. Sie erzeugen nach jedem der nacheinander oder nebeneinander erfolgenden Separationsschritte das abgetrennte Produkt neben einer Restfraktion ungetrennter Seltenen Erden (Zwischenprodukt). Durch die stufenweise Zerlegung ist mehrfach die Entscheidungsfreiheit gegeben, die Menge der Zwischenprodukte ganz, teilweise oder nicht weiter zu trennen. Diese Entscheidungsfreiheit gewinnt dann an ökonomischer Relevanz, wenn sowohl für das Zwischenprodukt als auch für dessen Aufspaltungsprodukte Märkte etabliert sind. In dem von der MolyCorp angewandten Verfahren wird in einem frühen Stadium ein sogenanntes "Lanthanum-RE Hydrate" gewonnen, daß sich gut verkaufen läßt. Zugleich kann dieses Zwischenprodukt aber auch weiter in die wertvollen Oxide von La, Pr und Nd aufgetrennt werden, die ebenfalls in bestimmten Mengen absetzbar sind. Gleiches gilt für ein Gd-Sm-Konzentrat und die reinen Oxide beider (vgl.: Abb. 44 b).

Hier hat man eine technisch bedingte Freiheit, das Mengenverhältnis der Kuppelprodukte: Zwischenprodukte-reine Stoffe, und damit mittelbar auch der reinen Stoffe untereinander, den Erfordernissen ihrer Absatzmärkte in begrenztem Maße anzupassen.

Angesichts der enormen Variabilität der möglichen Bedürfnisse so vieler Märkte, wie sie für die Grundstoffe der sechzehn Seltenen Erden vorhanden sind und darüber hinaus sein könnten, nimmt sich die Lenkbarkeit der Mengenverhältnisse für die Kuppelprodukte - sei es bei der Rohstoffwahl oder während der Trennvorgänge - trotzdem sehr bescheiden aus.

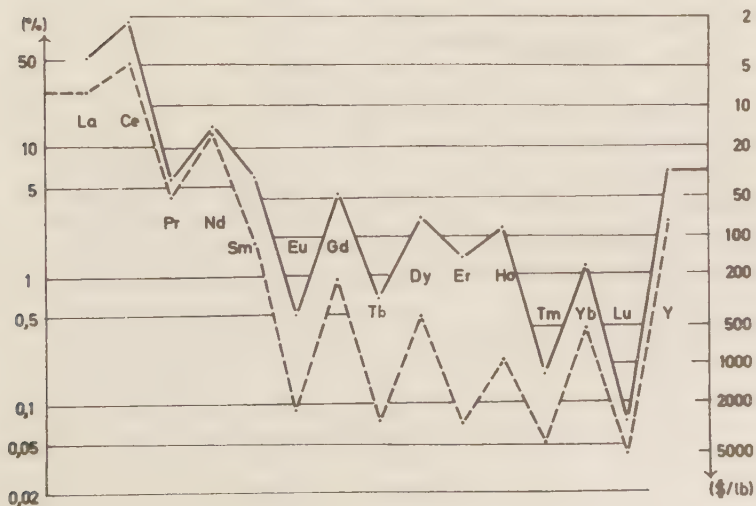
Die Produzenten stehen also vor dem Problem, ein in seiner Zusammensetzung wenig elastisches Angebot von Kuppelprodukten ertragswirksam und vollständig abzusetzen. Für die Verwirklichung der Zielsetzung bleibt ihnen als letztes und wirkungsvollstes Regulativ das komplexe Instrumentarium des Marketing. Daraus ergibt sich für die Hütten eine für stoffzerlegende (analytische) Betriebe typische Not-

wendigkeit der absatzmarktorientierten Unternehmensführung.

Besonderes Interesse kommt hier der Preispolitik zu. Dabei steht zu erwarten, daß die Angebotsseite einen bestimmenden Einfluß auf die Preislandschaft der Grundstoffe ausübt, der sich am Prinzip der Preis-Absatz-Funktion ausrichten muß, wonach die Absatzmenge proportional zum Preisanstieg absinkt und umgekehrt. Das bedeutet für die Produzenten, die in größeren Mengen anfallenden Kuppelprodukte proportional billiger anbieten zu müssen als die jeweils weniger häufigen, will man allen Produkten die theoretisch gleiche Absatzchance geben (die notwendigen Preiselastizitäten der Nachfrage vorausgesetzt).

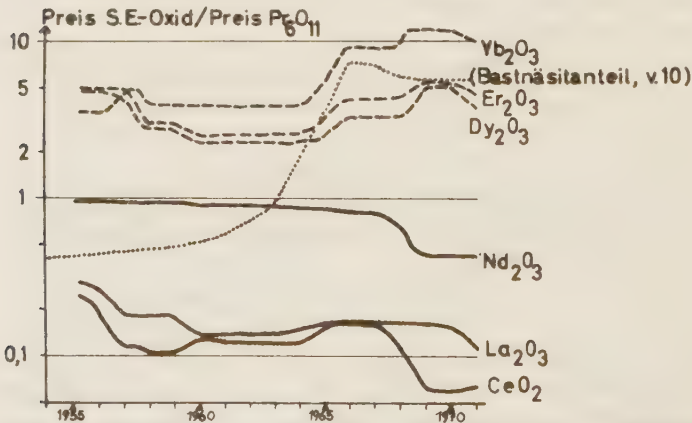
Wie konsequent sich die Hütten bei der Preisbildung an diesem Modell orientieren, läßt sich an einer Darstellung der Preisabstufungen zwischen den einzelnen Seltenen Erden ermesen, indem diese die gleiche Oddo-Harkins-Beziehung erkennen läßt, wie sie für die Häufigkeitsverteilung der Seltenen Erden typisch ist; vgl. Abb.45:

Abb.45: Die Preise der reinen S.E.-Oxide gegenübergestellt der S.E.-Verteilung in der Vorstoffproduktion.
(Bezugsjahr: 1969)



Die Tatsache, daß die Relativität der Preise für die Seltenen Erden prinzipiell als Funktion ihrer Häufigkeitsverteilung im Angebot (und damit entsprechend der vorangegangenen Ausführungen praktisch in der Vorstoffbasis) aufgefaßt werden, muß logisch folgen, daß die Produzenten dauerhafte Änderungen in der Zusammensetzung des verfügbaren Vorstoffangebots sinngemäß auf ihre Preisan-kündigungen übertragen. Die Verlagerung des Schwergewichts von Monazit auf den deutlich Yttererden-ärmeren Bastnäsit hatte dann auch das Preisbild für die Grundstoffe entsprechend beeinflußt:

Abb.46: Die Pr-normalisierte⁺ Preisentwicklung ausgewählter Grundstoffe in Beziehung zum Bastnäsitanteil an der Vorstoffbasis.



⁺Pr wird als Normalelement gewählt, weil sein Anteil an der Vorstoffbasis von der Umstellung Monazit auf Bastnäsit nach Cerium am geringsten beeinflußt wurde (vgl.:Tab.unten). Cerium, das häufigste Element der S.E., weist in vieler Hinsicht Besonderheiten auf, die seine Preisentwicklung individuell beeinflußt haben, so daß es als Bezugselement ungeeignet erscheint.

Oxid	Monazit (Anteil an S.E. in %)	Bastn.	Abweichung v.Monaz. (%)
La	23	34	48
Ce	45	50	11
Pr	5	4	20
Nd	17,5	11	37
Sm	3	0,5	83
Y	3,3	0,1	97
Restl.	3,2	0,4	88

V,2,3 Einflüsse der Nachfrage auf das Preisbild

Wie ausgeführt, versuchen die Produzenten preispolitisch den Absatz der durch vorgegebene Mengenverhältnisse gekennzeichneten Kuppelproduktion dadurch in Balance zu halten, daß sie die Preise für die Produkte der einzelnen Seltenen Erden umgekehrt proportional zum Mengenanteil des jeweiligen Elements an der Produktion festlegen. Dieses Prinzip kann nur bei entsprechend hohen Preiselastizitäten der Nachfrage in der gewünschten Weise erfolgreich sein. Die Elastizität hängt von der Dringlichkeit der Bedürfnisse ab, die wiederum im engen Zusammenhang mit den Substitutionsbeziehungen der Güter steht. Je schwerer ein Gut in seiner Funktion ersetzbar ist, desto mehr wird die Bereitschaft gefördert werden, es (nach Maßgabe der Rentabilitätsvorstellungen) teurer zu bezahlen. Umgekehrt wird man bei problemlos substituierbaren Gütern stets auf das jeweils billigste umsteigen.

Daraus folgt, daß die Hütten auf Märkten mit starker Substitutionskonkurrenz das vorgefaßte Preisschema verlassen, um die Preise auf das zur Gewährleistung des Absatzes erforderliche Maß abzusenken. Auf der anderen Seite werden sie bei geringer Nachfrageelastizität durch Verteuerungen deren Grenze auszuloten versuchen, um optimalen Ertrag zu erwirtschaften.

Erinnert man sich ergänzend zu diesen Überlegungen der Absatzmarktorientierung der S.E.-Produzenten, so wird klar, daß Veränderungen der Preisrelationen zwischen den Seltenen Erden ein empfindliches Instrument zur Beobachtung der Nachfrage darstellen kann. Leider läßt sich davon nur eingeschränkt Nutzen für die Marktanalyse ziehen, weil man nur der Produzentenpreise, aber nicht der tatsächlichen Kaufpreise habhaft werden kann. Die meist in Listenform herausgebrachten Produzentenpreise erscheinen in mehr oder weniger regelmäßigen, durchschnittlich vielleicht ein Jahr betragenden Abständen. Über kurzfristige Ereignisse können sie schon deshalb keine Auskunft geben.

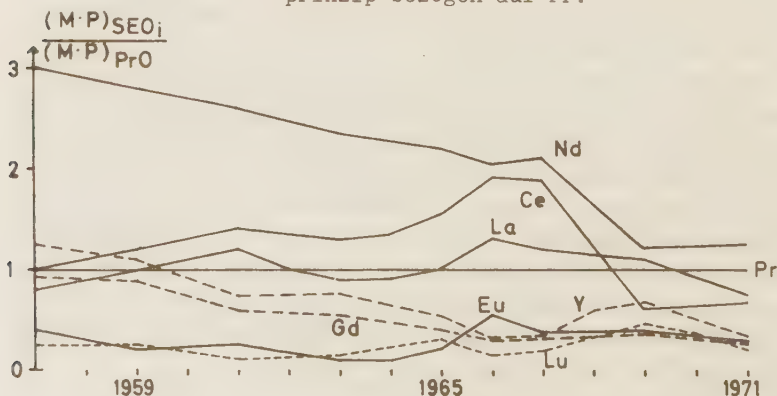
Pleiben die längerfristigen Auswirkungen herauszufinden. Zur Darstellung der nachfragebedingten Preiseinflüsse wird - wie schon für Abb.46 - von der durch technische Innovationen auf der Angebotsseite hervorgerufenen Großentwicklung der Preise durch Normalisierung abstrahiert. Zugleich müssen die dort ausgewiesenen Preisveränderungen durch unterschiedliche S.E.-Verteilungen in der Rohstoffbasis eliminiert werden. Zu diesem Zweck wird die jeweils spezifische S.E.-Verteilung in die Normalisierung miteinbezogen. Als Normalelement wird Pr aus den weiter oben genannten Gründen beibehalten. Als Preis dienen die Abgabepreise für die rein separierten Oxide. Hinreichende Interdependenz wird vorausgesetzt.

Nach den im Anhang tabellierten Daten und mit der gleichfalls dort wiedergegebenen Urliste (S.214) ist die Normalisierung sowohl für die kommerziell wichtigen als auch für typische S.E. anhand des Quotienten

$$\frac{M_{\text{SEO}_i} \cdot P_{\text{SEO}_i}}{M_{\text{PrO}} \cdot P_{\text{PrO}}}$$

vorgenommen worden, wobei M_{SEO_i} und M_{PrO} für den Mengenan-
 teil eines Elements der S.E. bzw. des Praseodymiums am
 S.E.-Oxidgehalt der Vorstoffbasis stehen und P_{SEO_i} und P_{PrO}
 für den Preis des reinen Oxids eines Elements der S.E. bzw.
 des Praseodymiums. Die Resultate sind in Abb.47 als Kurven
 dargestellt:

Abb.47: Abweichungen vom Preisbildungs-
 prinzip bezogen auf Pr.



Die Einflüsse der Nachfrage sind ansatzbedingt nicht immer eindeutig aus der Abbildung ablesbar, sondern sie müssen durch Interpretation herausgearbeitet werden, die nur bei Kenntnis des sonstigen Marktgeschehens zu sicheren Aussagen führen kann. Zunächst wird hier auf das unterschiedliche Niveau der Kurven eingegangen. Dabei läßt die Lage der Linien von La, Ce, Pr und Nd im oberen Teil der Kurvenschar den Schluß zu, daß die im Vorstoffangebot häufigsten S.E. stärker nachgefragt sind, als ihrer Relation zu den selteneren Metallen der Gruppe entspricht. Die seltensten und teuersten (hier Eu und Lu) rangieren am Grund der Kurvenschar, was dementsprechend einer relativ unterentwickelten Nachfrage gleichzusetzen ist. Hier kommt zur Geltung, daß die empirische Preis-Absatz-Kurve für die Kuppelprodukte sich nur im mittleren Bereich näherungsweise wie eine lineare Beziehung verhält, daß aber zu ihren Enden hin Abweichungen davon deutlich werden können, die auf einen exponentiellen Verlauf hinweisen, indem die Verteuerung der (innerhalb des untersuchten Systems) bereits teuren Produkte eine stärkere Reduzierung der Nachfrage herbeiführt, als entsprechende Verteuerungen für die billigeren Güter. Das gilt sinngemäß in umgekehrter Weise auch für den anderen Randbereich, wo Verbilligungen ohnehin billiger Produkte einen überproportionalen Nachfrageanstieg auslösen können.

Die Angebotsseite ist mithin gut beraten, ihr der Handhabung wegen einfaches Preisbildungsprinzip auf diese unterschiedlichen Nachfrageelastizitäten hin zu modifizieren, um es für ihre Zielsetzung effizienter zu machen. Die insbesondere seit 1966 tendenziell zunehmende Konvergenz der Kurven zeigt an, daß dieser Anpassungsprozeß in realiter läuft. Das bedeutet auch: die Differenz zwischen den teuersten und billigsten Produkten wird verringert.

Bei der Einzeldiskussion der Kurven sei mit Yttrium begonnen, dessen Linie bis 1966 fallenden Verlauf zeigt, was darauf hindeutet, daß sich für Y kein adäquater Nachfragezuwachs wie für die meisten anderen S.E. realisieren konnte.

Seine Produkte wurden innerhalb des Preissystems der S.E. immer weitergehend abgewertet. Ab 1965 war mit der Fernseh-industrie ein potenter Abnehmer für reine Y-Grundstoffe neu hinzugekommen, so daß die gestiegene Nachfrage eine relativ höhere Bewertung des Y rechtfertigte, was ab 1966 spürbar wird. Die Angebotsseite wurde sogar zur Erstellung neuer Produktionseinheiten für die Gewinnung von Y-Vorstoffen angeregt. Etwa ab 1968 begann die Nachfrage sich allmählich abzuschwächen, so daß sich abermals ein Produktionsüberhang einstellte und die Y-Preise erneut gegenüber denen der meisten anderen S.E. auf den alten Tiefstand relativiert werden mußten.

Auch Eu erfuhr durch die Nachfrage der Fernsehindustrie eine deutliche Belebung, die sich jedoch früher (1965), gleich zu Beginn der Verwendung des neuen Rotleuchtstoffs bemerkbar machte, wohl weil es sich um die erste kommerzielle Nachfrage für Eu handelte. Zwar ergab sich sehr rasch ein Produktionsüberhang, jedoch reichte das verbliebene Bedarfsvolumen aus, Eu auf einem erhöhten Bewertungsniveau zu behalten.

Die Entwicklung von Lu deckt sich bis 1965 mit der des Eu, mit dem es den Mangel an industrieller Verwendung gemeinsam hatte. Anschließend orientiert sie sich an der Yttriumkurve, jedoch ohne deren Hintergrund eines wesentlich erhöhten Bedarfs. Die Kongruenz resultiert hier aus der Reaktion der Angebotsseite, die Vorstoffproduktion für Y und damit zwangsläufig auch für die Yttererden zu steigern, wodurch Lu vermehrt aber nicht verbilligt angeboten wurde, was im Kurvenverlauf eine Nachfragezunahme vortäuscht. Die notwendige Bewertungskorrektur wurde erst nach mehrjähriger Verzögerung nachgeholt.

Als eine gleichartige technische Reaktion kann nur das Ansteigen der Kurven von La und Ce ab 1964 und verstärkt ab 1965 interpretiert werden. Ihr Anteil im Vorstoffaufkommen ist zu jener Zeit auf Kosten der anderen S.E. inklusive des Praseodymiums stark gestiegen, während die Preise in der alten Relation belassen wurden. Die Nachfrage zog unter

diesen Bedingungen nicht mit, so daß sich ein beträchtlicher Produktionsüberschuß anhäufte, auch für das nach der Verdopplung der Weltvorstoffproduktion in 1966 überbewertete Nd, der in der Folgezeit starke Bewertungsabschläge notwendig machte. Die Nachfrage reagierte positiv wie erhofft, so daß das neue Niveau ab 1969 für Nd beibehalten und für Cer sogar leicht nach oben korrigiert werden konnte. Für La waren die Verbilligungen offensichtlich noch zu gering bemessen.

Eine bis 1966 abwärts tendierende Kurve weist Gd auf, dessen geringes Bedarfvolumen nicht ausreichte, das verfügbare Angebot aufzunehmen. Erst von diesem Jahr an, trotz anfangs gestiegener, ab 1968 gleichgebliebener Produktion, genügte die angewachsene Nachfrage (vornehmlich aus der Elektrotechnik), das reduzierte Bewertungsniveau zu halten.

V,2,4 Fazit

Noch auffälliger als auf dem Vorstoffsektor wirken die Hütten, diesmal als Anbieter, bei den Grundstoffen preisbestimmend. Maßgebend ist hier ihr auf Absatzbalance bedachtes, sich an der vorgegebenen S.E.-Verteilung in der Vorstoffbasis orientierendes, mithin starres Preisbildungsprinzip, das nachfragebedingt nur wenig modifiziert zu werden braucht.

Die Hütten besitzen folglich eine preispolitisch starke Stellung auf allen, den Vorstoff- wie Grundstoffmärkten der Seltenen Erden.

VI AUSELICK

Ursprünglich war an dieser Stelle vorgesehen, die zukünftigen Entwicklungen auf den Märkten der Seltenen Erden anhand einer Modellprognose zu diskutieren. Frühzeitig zeigte sich aber, daß dies nicht durchführbar sein würde. Zwei Gesichtspunkte gaben dabei den Ausschlag.

Primär läßt der offensichtliche Mangel an gesicherten Daten, insbesondere für Zeitreihen, eine Prognose auf der Basis von Extrapolationen ohnehin nicht zu. Als einigermaßen vertrauenswürdige Zeitreihen stehen neben Preisentwicklungen einiger Produkte lediglich die Zahlen über den industriellen Grundstoffverbrauch der USA (vgl. Abb. 48) sowie die hier entwickelte Kurve der Weltvorstoffproduktion (vgl. Abb. 28, S. 107) zur Verfügung. Das reicht natürlich nicht aus.

Zum anderen erscheint die Modellprognose bei derart jungen und forschungsintensiven, damit hochdynamischen Märkten wegen der vielen, daraus zu erwartenden unkalkulierbaren Einflußfaktoren nicht erfolgversprechend. Betrachtet man dazu beispielsweise die hier abgebildete Verbrauchsentwicklung der Vereinigten Staaten, so zeigt diese eine ziemlich klare Entwicklung, deren Beschreibung und Extrapolation nicht nur dem Kurvenverlauf nach, sondern auch inhaltlich begründet mit einer logistischen Funktion sich anböte. Dem laufen jedoch verschiedene,

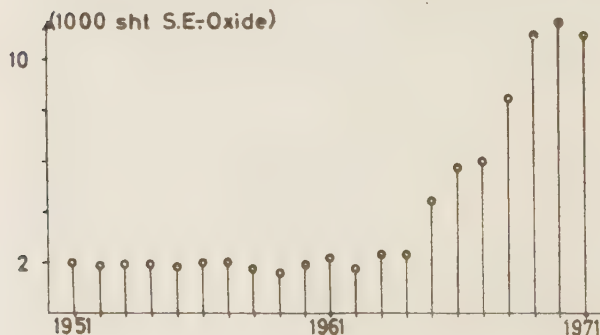


Abb. 48:

Entwicklung
des industri-
ellen Endver-
brauchs der
USA. -(299)-

erst jüngst bekannt gewordene Anzeichen zuwider, die eher darauf hindeuten, daß abermals eine stärkere Zunahme der Nachfrage - ähnlich wie 1965 - vor der Tür steht. Dabei ist z.B. an die gegenwärtig favorisierten S.E.-Katalysatoren für die Reinigung der Autoabgase gedacht, in Verbindung mit den Bestrebungen der Legislative - auch außerhalb der USA - auf eine drastische Einschränkung der Abgasgifte aus Verbrennungsmotoren (endlich) zu drängen. Auch die Kombination S.E.-Additive zu Rohrstählen, die sich in Permafrostgebieten bewähren, mit der wegen der weltweit befürchteten Energiekrise stärker vorangetriebenen Erschließung der arktischen Erdölvorkommen, dürfte künftig einen bedeutenden Mehrbedarf an Seltenen Erden zur Folge haben, der nach den Ausführungen des 2nd Quarterly Annual Report 1972 der Molybdenum Corp. of America bereits einzusetzen scheint.

Da besonders im erstgenannten Beispiel der Bedarf für nur einige S.E. zunähme, wären aus Gründen der Absatzbalance Teuerungen jener, sicher aber weitere Verbilligungen für andere S.E. zu erwarten, die wiederum eine zusätzliche, breiter angelegte Zunahme des Nachfragevolumens bewirkten von nicht vorhersehbarem Ausmaß.

Es soll mit diesen Gedanken zum Ausdruck gebracht werden, daß die durch ihre geochemische Kopplung voneinander abhängigen Märkte der S.E. sich in einer hochgradig dynamischen Entwicklungsphase befinden, deren unausgeglichener, juveniler Charakter sich nicht nur darin verdeutlicht, daß viele der Seltenen Erden praktisch noch keinen Markt gefunden haben, was aber über kurz oder lang bevorsteht, sondern auch in den Preisen für die raffinierten Produkte, die immer noch abwärts tendieren, ganz im Gegensatz zu der Entwicklung bei den meisten anderen kommerziellen Metalle. Angesichts dieser Grundsituation sind m.E. die Perspektiven dieser Märkte - selbst wenn Daten zu Produktion, Verbrauch und Lagerhaltung hinreichend vorlägen - quantitativ nicht kontrollierbar.

Das gut ausgestattete und entsprechend informierte U.S. Bureau of Mines hat es unternommen, eine Langzeitprognose 1968/2000 zu bestimmten Kerndaten für die meisten Metalle zu veröffentlichen (257). Betreffs der Seltenen Erden sind einige Aussagen daraus in der folgenden Aufstellung wiedergegeben:

Tab.22: Voraussage über Produktion und Nachfrage an S.E. für d.J.2000.
- Angaben in sht Metallinhalt - Quelle:(257).

1) S.E. ohne Y	Jahr	"primary production"		"primary demand"		Zuwachs- rate (%)
		low	high	low	high	
USA	1968	- 11.400	-	- 6.800	-	-
	2000	19.000	41.000	11.100	24.500	1,5-4
Welt o.USA	1968	-	-	5.000	-	-
	2000	-	-	17.500	32.000	-

2) v						
USA	1968	- 5	-	- 30	-	-
	2000	11	30	64	179	2,3-5,8
Welt o.USA	1968	-	-	- 10	-	-
	2000	-	-	40	80	-

Die Fragwürdigkeit dieser, allerdings auch einen weitgefaßten Zeitraum überbrückenden Prognose ergibt sich nicht nur aus der großen Differenz zwischen den Hoch- und Tiefwerten (es handelt sich um Standardabweichungen), sondern ist darüber hinaus in unsicheren Ausgangswerten begründet. Das Institut gab 1969 den Verbrauch ("apparent industrial consumption") der USA für 1968 mit umgerechnet 5950 sht S.E. an (Minerals Yearbook 1968); in den gleichfalls dort erhobenen, 1972 herausgegebenen Commodity Data Summaries (300) wurde dieser Wert auf 7200 sht korrigiert. Der in der vorliegenden, dazwischen (1971) erschienenen Prognose als "primary demand" deklarierte Wert von 6800 sht fügt sich gut in diese Reihe ein, wodurch vermutet werden kann, daß die verschiedenen Benennungen zumindest für den Bereich der Seltenen Erden dasselbe meinen.

Dann aber wäre der Ausgangswert für die Prognose zu niedrig gewählt, wodurch auch verständlicher würde, daß die von 1968-71 erzielte (jährliche) Zuwachsrate für den US-amerikanischen Verbrauch sich bei 9% einstellte, vorerst also bei weitem höher als bis 2000 für die Nachfrage vorhergesagt. Dadurch entstand die Situation, daß bereits 1972 die Nachfrage ein Niveau erklimmen haben dürfte, das nur noch geringfügig unter dem für 2000 angenommenen Tiefststand läge!

Krasser noch erscheint die bergbauliche Produktion für Yttrium unterschätzt. Wenngleich der kalifornische Bastnäsit fast Y-frei ist, so bedeutet der Gehalt von ca. 0,1% doch, daß jährlich um 10 t Y_2O_3 in Mountain Pass mitgewonnen werden. Das Unternehmen ist auch in der Lage, den Y-Anteil in einem Konzentrat zu sammeln.

Man tut es derzeit sicher nicht, weil Y-Vorstoffe in ausreichendem Maße von anderer Seite zur Verfügung stehen. Daraus sollte aber nicht die Konsequenz abgeleitet werden, Bastnäsit als Y-Vorstoff nicht berücksichtigen zu brauchen, wo er doch bei anderer Gelegenheit (z.B. im Falle eines Versorgungseingpasses für Y-Vorstoffe) als solcher in Erscheinung treten kann.

Weitaus merkwürdiger stellt sich die offensichtliche Nichtberücksichtigung der beträchtlichen Monazitproduktion des Landes dar, die sicher für einige hundert t.p.a. Y_2O_3 gut sein dürfte. Monazit gehört bis heute zu den wichtigsten Vorstoffen für die Yttriumproduktion. Um das sorgsam gehütete Geheimnis um die Monazitproduktion der USA nicht zu unterlaufen, bedient man sich offenbar ganz bewußt einer irreführenden Zahl. Denn das bergbauliche Yttriumaufkommen des Landes rangiert um mindestens eine Zehnerpotenz, höchstwahrscheinlich noch mehr über dem ausgewiesenen Wert von 5 sht Metallinhalt. An diesem Beispiel - wohl die einzige (publizierte) quantitative Prognose für die S.E. überhaupt - wird noch einmal deutlich, mit welchen Schwierigkeiten Voraussagen sich auseinandersetzen müssen.

Die Transparenz der Märkte reicht jedoch aus, qualitative Aussagen bezüglich einiger Entwicklungstrends zu treffen.

Betrachtet man die Möglichkeiten der erschlossenen und potentiellen Lagerstätten sowie die Produktionskapazitätsreserven auf der Vorstoffseite, so ergibt sich zwanglos, daß Versorgungsschwierigkeiten mit den mineralischen Rohstoffen besonders für die Ceriterden selbst langfristig nicht anstehen. Herausragend auch hier die Molybdenum Corp., deren Produktion nun schon über sieben Jahre zwischen 50 und 60% zum gesamten Weltvorstoffaufkommen beitrug, die ihre Konzentrationsanlage in Mountain Pass dafür aber seit 1967 nur mit einer jährlichen Auslastung von 45 bis 52% (1971: 48%) ausnutzen konnte. Dadurch kann allein von diesem Unternehmen im Eventualfall das Vorstoffaufkommen um ein Drittel aufgestockt werden; Erweiterungen der Produktionskapazität sind darüber hinaus sicher auch noch durchführbar.

Aus dieser, einen Käufermarkt signalisierenden Situation darf jedoch nicht geschlossen werden, daß die Bemühungen um Erschließung neuer Lagerstätten eingestellt werden. Bestimmte ökonomische Überlegungen können die Marktteilnehmer ganz im Gegenteil dazu führen, sich auf dem Vorstofffeld künftighin stärker zu engagieren.

Da ist zunächst die Marktmorphologie des Ceriterdensektors. Einer oligopolistischen Konkurrenz auf der Nachfrageseite steht ein Monopolist (neben vielen kleineren Lieferanten) als Anbieter gegenüber. Da diese Molybdenum Corp. darüber hinaus über ein vorwärts integriertes Unternehmen mit allen dem Bergbau nachfolgenden Produktionsstufen bis zur Herstellung der reinen Grundstoffe verfügt und auch horizontal - durch vertragliche Kooperationen und Rohstoffsicherung - ihre Stellung festigen konnte, ist sie zugleich stärkster Konkurrent für die vorstoffverarbeitende Industrie auf dem durch ein Angebotsoligopol beeinflussten Grundstoffsektor. Die Hütten werden daher versuchen, ihre Wettbewerbsfähigkeit sowohl durch horizontale Konzentrationsbemühungen als auch durch Rückwärtsintegration zunehmend zu stärken, und dabei dann auch an die Erschlie-

Bung neuer Vorkommen denken, zumal sich die in den 60er Jahren angehäuften Lagerbestände auf ein Normalmaß reduziert haben.

Ein weiterer Grund, Aktivitäten auf dem Lagerstättensektor zu erwarten, ergibt sich aus der Situation bei den Yttererden. Eine Entfaltung dieser bislang unbedeutenden bzw. nicht existenten Märkte ist wegen der Preispolitik der Hütten von Veränderungen in der Vorstoffbasis abhängig. Gelänge es, yttererdenreiche Vorstoffe in größerer Menge zu beschaffen, so würde sich - womöglich schon kurzfristig - ihr Geschäftsvolumen beträchtlich erweitern. Daß man sich auf seiten der Produzenten auch auf diese Möglichkeit einstellt, deuten die Bestrebungen verschiedener Firmen an, sich geeignete Rohstoffquellen zu sichern. -

Für die bisherigen Überlegungen ist ein Anwachsen des Endverbrauchs Voraussetzung. Diese Annahme - am Anfang des Kapitels bereits gestützt - soll hier anhand der wichtigsten Trends und des jüngsten Entwicklungsstandes für den Gesamtbereich der Seltenen Erden kurz überprüft werden.

Das Nachfragevolumen für die getrennten S.E. wird sicher weiter ansteigen. Dieser Trend ist statistisch zwar schlecht erfaßt, er mag jedoch daran gemessen werden, daß ihre 1966 in den USA erzeugte Gesamtmenge auf knapp 20% der S.E.-Gesamtproduktion des Landes geschätzt wurde, obwohl der Beginn ihrer kommerziellen Herstellung erst 10 Jahre zurücklag. Diese Entwicklung ist das Ergebnis der anhaltenden Forschungstätigkeit, die fortwährend neue Verwendungsmöglichkeiten herausfindet und darüber hinaus aus den gemischt verbrauchten S.E. diejenigen Elemente bestimmt, welche in den Verwendungsgebieten am effektivsten arbeiten. Schon jetzt beanspruchen die meisten Verwendungen Grundstoffe der getrennten Seltenen Erden (298).

Die metallisch dargestellten S.E., ebenso wie fast alle reinen Produkte der Yttererden harren allerdings noch der

Markteinführung. Hemnis ist ihr hohes Preisniveau. Die für Verbindungen der Ceriterden eingeleiteten Verbilligungen dürften auch für die zugehörigen Metalle nachgeholt werden, so daß die industrielle Verwendung der häufigeren Ceriterden und des Yttriums bevorsteht.

Anders sieht es bei den schweren S.E. aus, deren Verbilligungen - wie erwähnt - zunächst einmal der Erschließung einschlägiger Rohstoffquellen bedürfen.

Die ungetrennt gehandelten Produkte, darunter besonders der Bedarf der Erdölraffinerien, haben den Verbrauchsanstieg der letzten Jahre maßgeblich getragen. Die mit Beginn der 70er Jahre rückläufige Nachfrage der Erdölindustrie - nach weitgehend beendeter Einführung der neuen Katalysatoren auch außerhalb der USA - wird seit 1971 von einem stark gestiegenen Bedarf der Eisen- und Stahlindustrie mehr als kompensiert. Daneben bleibt der Fundus der alteingeführten Märkte: S.E.-Salze für Bogenlampenkohlen, Mischmetall für pyrophore Legierungen und Cerioxide als Polierpulver, der, wenngleich kaum expansiv, weiterhin für die Abnahme einer substantiellen Menge an Seltenen Erden sorgen wird.

Für den Gesamtbereich der Seltenen Erden muß daher mit einem weiteren Ansteigen des Verbrauchs gerechnet werden, wobei schon in absehbarer Zeit, sofern sich nicht neue Verwendungen von großem Nachfragevolumen für die partiell getrennten S.E. durchsetzen - wie die erwähnten Katalysatoren für die vollständige Kraftstoffverbrennung oder die Überzüge für selbstreinigende Backöfen und Küchenherde -, die Grundstoffe der getrennten Seltenen Erden sich als maßgebliche Träger der Aufwärtsentwicklung durchsetzen könnten.

Über lange Zeit waren die Märkte der S.E. durch einen zeitweise zwar unruhigen, alles in allem aber stanierenden Verlauf gekennzeichnet. Erst ab 1965 begann der Verbrauch erheblich zu steigen. Alle Anzeichen deuten darauf hin, daß die dynamische und expansive Entwicklung der letzten Jahre anhalten wird.

VII ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit ist wahrscheinlich die einzige umfassende veröffentlichte Marktübersicht und -analyse für die Metalle der Seltenen Erden. In einer Rückschau soll an dieser Stelle ein stichpunktartiger Überblick über ihre wichtigsten Ergebnisse in der verwendeten Reihenfolge vermittelt werden.

- Die Geochemie der Seltenen Erden mit besonderer Berücksichtigung ihrer Bedeutung für die Lagerstättenbildung wird umrissen.
- Die wichtigsten Minerale der S.E. werden genannt und - soweit verfügbar - mit chemischer Formel, S.E.-Gehalten und -verteilung aufgeführt.
- Die Lagerstätten werden in sechs, nach geologischen Kriterien gebildeten Klassen gegliedert.
- Fast alle wesentlichen produzierenden und potentiellen Lagerstätten und Vorkommen werden aufgeführt und nach Geologie, Vererzung, Gehalten, Reserven und Bergbauaktivitäten behandelt. Die einschlägig engagierten Unternehmen werden genannt.
- Die Bedeutung der Lagerstättentypen und mineralischen Rohstoffe für den Vorstoffsektor wird untersucht.
- Die natürlichen Einflußfaktoren auf die Wettbewerbssituation einzelner Lagerstätten und bestimmter Lagerstättentypen werden betrachtet.
- Die modernen Entwicklungen auf dem Vorstoffsektor werden beschrieben.
- Ein kurzer Überblick über die wichtigsten zur Anwendung gelangenden Aufschluß-, Separations- und Metall-darstellungsverfahren konnte gegeben werden.

- Es wird versucht, eine Einschätzung der Grundstoffproduzenten nach Arbeitsbereich und Bedeutung auf den Märkten der Seltenen Erden zu vermitteln.
- Alle vorliegenden Informationen über die Grundstoffproduzenten bezüglich Sitz der Firma, Standorte der Werksanlagen, Rohstoffbasis, benutzte Technologie, Produktion, Angebotsbreite u.a. sind in Kurzform zusammengestellt worden.
- Geboten wird eine Übersicht über alle wichtigen Grundstoffe der Seltenen Erden mit Angaben über Handelsformen und Preise.
- Die Entwicklung der Verwendungsgebiete und des industriellen Verbrauchs von Seltenen Erden wird dargelegt.
- Es werden die eingeführten Verwendungsgebiete nach Produktgruppen und einzelne Elemente aufgelistet und kurz nach Bedeutung und Anwendungszweck charakterisiert worden.
- Eine Analyse der Preisbestimmungsgründe auf dem Vorstoffsektor wird durchgeführt.
- Mit gleicher Zielsetzung wird der Grundstoffsektor untersucht, wobei insbesondere auf die Preisentwicklung und die internen Preisrelationen eingegangen wird. Auch die Einflüsse der Nachfrage auf das Preisbild werden herausgearbeitet.
- Die Zukunftsperspektiven der Märkte der Seltenen Erden werden andiskutiert.
- Im Anhang wird in einer tabellarischen Übersicht die Vorstoffproduktion einzelner Länder während der letzten elf Jahre abgeschätzt.
- Ein gegliedertes Literaturverzeichnis verschafft einen Überblick über die einschlägigen Publikationen, wobei für die Auswahl der Arbeiten ihre Aktualität als ein wichtiges Kriterium gewertet wurde.

Tab.21: Produktion von S.E.-Vorstoffen nach Ländern, geschätzt
- in t S.E.-Oxid-Äquivalente -

	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
Finnland	-	-	-	-	-	85	500	400	355	235	45
Kanada	-	-	-	100	120	125	135	125	110	140	145
USA	1.000	1.300	1.430	1.980	2.960	12.180	12.630	11.940	13.890	10.625	11.350
Brasilien	775	2.315	1.330	440	455	590	810	1.175	1.570	1.920	1.685
Australien	840	450	1.150	1.110	1.290	1.105	1.300	1.200	2.200	2.500	2.200
Mauretanien	-	-	-	-	-	-	-	280	300	-	-
Burundi	-	-	-	-	45	90	180	315	360	180	270
Madagaskar	270	370	360	570	640	500	105	140	-	-	-
Südafrika	240	2.510	980	-	-	-	-	-	-	-	-
Indien	1.200	1.200	1.750	1.460	1.255	1.520	1.560	1.900	1.360	2.000	2.200
Sri Lanka	125	-	-	14	21	21	12	25	33	30	30
Malaysia ⁺	422	352	542	183	215	535	580	1.290	1.280	1.150	930
Indonesien	55	80	85	80	17	50	-	15	15	15	15
Süd-Korea	460	400	-	-	15	7	7	-	-	-	-
Sonstige	83	113	93	93	137	12	21	25	127	95	90
Welt ⁺⁺	5.470	9.090	7.710	6.030	7.170	16.820	17.840	18.830	21.600	18.890	18.960

⁺ Exporte; ⁺⁺ ohne Ostblock

Tab.22: Urliste I für Abb.47 (S.200). (Schätzwerte)

- Weltvorstoffproduktion nach ihrem mineralischen Ursprung - in t S.E.-Oxid-Äquiv. -

Jahr	Bastnäsit	Monazit	andere Cerit- erdenminerale ⁺	Yttererden- minerale ⁺⁺
1955	395	7.690	5	35
1956	440	8.060	5	85
1957	370	7.900	5	105
1958	225	7.260	-	75
1959	225	3.750	-	50
1960	235	2.255	30	15
1961	250	5.125	90	5
1962	500	8.575	5	10
1963	680	7.020	-	10
1964	1.360	4.540	120	10
1965	2.765	4.200	170	35
1966	11.515	4.970	300	35
1967	11.845	5.040	850	105
1968	10.895	6.760	775	60
1969	12.750	8.075	900	75
1970	9.305	7.500	1.085	200
1971	10.120	7.590	975	75

⁺ Apatit, Pyrochlor, Davidit, Cerit, Orthit.

⁺⁺ Xenotim, Brannerit, Euxenit, Thorit.

Tab.23: Schlüssel der S.E.-Verteilung für Abb.47 (S.200).
- in Prozent vom S.E.-Oxidgehalt -

Element	Bastnäsit	Monazit	andere Cerit- erdenminerale	Yttererden- minerale
La	34	23	24,0	1,0
Ce	50	45	44,7	6,5
Pr	4	5	4,5	0,7
Nd	11	17,5	16,2	2,4
Sm	0,5	3	1,7	1,6
Eu	0,11	0,07	0,2	0,2
Gd	0,2	1,9	1,5	3,5
Lu	< 0,005	< 0,1	0,1	1,0
Y	0,1	3,3	5,8	52,5

Tab.24: Urliste für Abb.2, S.11 (Geochemische Verteilung der Seltenen Erden).

Element	- in ppm -			
	Lithosphäre		Magmatite	Chondrite
	Quelle: (27)	(36)	(22)	(39)
Sc	5	5,1	17	8,8
Y	28	26	35	1,9
La	18	17	42	0,32
Ce	46	43	81	0,90
Pr	5,5	5,2	10	0,13
Nd	24	22	40	0,57
Pm	0,0	0,0	0,0	0,0
Sm	6,5	o.A.	7,6	0,21
Eu	1,1	0,99	1,5	0,074
Gd	6,4	5,9	7,2	0,31
Tb	0,9	0,85	1,1	0,051
Dy	4,5	4,2	5,8	0,30
Ho	1,2	1,1	1,4	0,074
Er	2,5	2,3	3,9	0,21
Tm	0,2	0,19	0,62	0,032
Yb	2,7	2,5	3,7	0,18
Lu	0,75	0,7	0,61	0,032

LITERATURVERZEICHNIS

1. Geochemie und Minerale

- (1) AHRENS, I.H.: The use of ionization potentials. 1:
Ionic radii of the elements.
Geochim. & Cosmochim. Acta, 2, 1952, S. 155-69
- (2) - : Aspects of the geochemistry of the rare
earths. in: EYRING, LeRoy:
Progress in the science and technology
of the rare earths. 1, New York 1964
- (3) BALASHOV, Yu.A. & KHITROV, L.M.: Distribution of the
rare earths in the waters of the Indian
Ocean. Geochemistry 1961, S. 877-890
- (4) BLISKOVSKIY, V.Z. et al.: The Lanthanide Composition
of Phosphorites.
Doklady Akad. Nauk. SSSR, 186, 1969
- (5) BORISENKO, L.F.: Scandium, its geochemistry and mine-
ralogy. New York 1963
- (6) BRANDES, W. & GELLER, A.: Seltene Elemente.
Zeitschr. f. praktische Geologie, 1933, H. 10
- (7) BUTLER, J.R.: Rare earths in some niobate-tantalates.
Mineral. Magazine, 31, 1958, S. 736-780
- (8) CHASE, J.W. et al.: Lanthanum, europium and dyspro-
sium distributions in igneous rocks and mine-
rals. Jour. Geophys. Res., 68, 2, 1963, S. 567-574
- (9) CORYELL, C.D. et al.: A procedure for geochemical
interpretation of terrestrial rare-earth
abundance patterns.
Jour. Geophys. Research, 68, 2, 1963, S. 559-566
- (10) FLEISCHER, M.: Some aspects of the geochemistry of
yttrium and the lanthanides.
Geochim. & Cosmochim. Acta, 29, 1965, S. 755-72
- (11) - & ALTSCHULER, Z.S.: The relationship of
the rare-earth composition of minerals to
geological environment.
Geochim. & Cosmochim. Acta, 33, 1969, S. 725-732
- (12) FRONDEL, C.: Scandium. in: WEDEPOHL, K.H. (Hrsg.):
Handbook of Geochemistry. II-2
Springer Verlag, Berlin.... 1970
- (13) FRYKLUND, V.C. & FLEISCHER, M.: The abundance of scan-
dium in volcanic rocks, a preliminary esti-
mate.
Geochim. & Cosmochim. Acta, 27, 6, 1963, S. 643-64

- (14) GEILLER, S. & ROMO, P. & REFMER, J. P.: Refinement of the structure of scandium sesquioxide.
Zeitschr. f. Krist., 124, S. 136-142, (1967)
und 125, S. 461 (1968)
- (15) GOLDBERG, E. D. et al.: Rare-earth distributions in the marine environment.
Jour. Geophys. Research, 68, 14, 1963, S. 4209-4217
- (16) GOLDSCHMIDT, V. M. & THOMASSEN, L.: Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente. III: Röntgenspektrographische Untersuchungen über die Verteilung der Seltenen Erdmetalle in Mineralen.
Videnskapsselskapets Skrifter, I, 5, 1924
- (17) - & BARTH, T. & LUNDE, G.: Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente. V: Isomorphie und Polymorphie der Sesquioxide. Die Lanthanidenkontraktion und ihre Konsequenzen.
Skrifter Norske Videnskaps-Akad., Oslo 1925
- (18) - : Geochemistry.
At the Clarendon Press, Oxford 1954
- (19) HASKIN, L. et al.: Rare earths in sediments.
Jour. Geophys. Research, 71, 1966, S. 6091-6105
- (20) HASKIN, L. & GEHL, M. A.: The rare-earth contents of standard rocks G-I and W-I and their comparison with other rare-earth distributions patterns.
Jour. Geophys. Research, 68, 7, 1963
- (21) HEINRICH, E. W.: Xenotime and thorite from Nigeria.
American Mineralogist, 48, 1963, S. 206-207
- (22) HERRMANN, A. G.: Yttrium and Lanthanides.
in: WEDEPOHL, K. H. (Hrsg.): Handbook of Geochemistry II-2; Springer, Berlin... 1970
- (23) JEFFORD, G.: Xenotime from Rayfield, Northern Nigeria.
American Mineralogist, 47, 1962, S. 1467-1473
- (24) KHOMYAKOV, A. P. & MANUKHOVA, A. A.: Rare Earths in Zircon From Miaskite.
Doklady Akad. Nauk. SSSR, 196, 1971, S. 221-222
- (25) KHOMYAKOV, A. P.: Geochemical Mobility of Lanthanides.
Doklady Akad. Nauk. SSSR, 200, 1971, S. 228-231
- (26) KNOP, O. & Hartley, J. M.: Refinement of the crystal structure of Sc_2O_3 .
Canad. Jour. Chem., 46, 1968, S. 1446-1450
- (27) KRAFT, M. & SCHINDLER, R.: Geochemische Datensammlung zum Periodischen System der Elemente.
Berlin 1962

- (28) LEEDER, O.: Geochemie der Seltenen Erden in natürlichen Fluoriten und Kalziten.
Freiberger Forschungshefte, C 206, 1966, 137 S.
- (29) McKEOWN, F.A. & KLEMITZ, H.: Rare-earth-bearing apatite at Mineville, Essex County, New York.
U.S.Geol.Survey Bull. 1046-B, 1956, 23 S.
- (30) MATSUI, Y. & MASUDA, A.: On the variation in relative abundances of rare earth elements among meteorites, igneous rocks, and sediments.
Geochim.et Cosmochim.Acta, 27, 5, 1963, S.547-549
- (31) MINAMI, E.: Gehalte an Seltenen Erden in europäischen und japanischen Tonschiefern.
Nachr.Ges.Wiss.Göttingen, Math.-Physikal.Kl. IV, 1, 1935, S.155-170
- (32) MURATA, K.J. et al.: Systematic variation of rare-earth elements in cerium-earth minerals.
Geochim.et Cosmochim.Acta, 11, 3, 1957, S.141-164
- (33) OVERSTREET, W.C.: Metamorphic grade and the abundance of ThO₂ in monazite.
U.S.Geol.Survey Prof.Pap., 400-B, 1960, S.55-7
- (34) PORTNOV, A.M. & DUBINCHUK, V.T. & STOLYAROVA, T.I.:
A Natural Rare-Earth Oxy-Apatite.
Doklady Akad.Nauk.SSSR, 192, 1970
- (35) RANKAMA, K. & SAHAMA, T.G.: Geochemistry. Chicago 1950
- (36) REMY, : Lehrbuch der Anorganischen Chemie.
Leipzig 1954, 7.Aufl., Bd.2
- (37) ROBINSON, W.O.: The occurrence of rare earths in plants and soils. Soil Science, 61, 5, 1946
- (38) - The presence and determination of molybdenum and rare earths in phosphate rock.
Soil Science, 66, 4, 1948
- (39) SCHMITT, R.A. et al.: Abundances of the fourteen rare-earth elements, scandium, and yttrium in meteoritic and terrestrial matter.
Geochim.et Cosmochim.Acta, 27, 6, 1963, S.577-622
- (40) SCHMITT, R.A. & Smith, R.H. & Olehy, D.A.: Rare earth, yttrium and scandium abundances in meteoritic and terrestrial matter II.
Geochim.et Cosmochim.Acta, 28, 1964, S.67-86
- (41) SCHOFIELD, A. & HASKIN, I.: Rare earth distribution patterns in eight terrestrial materials.
Geochim.et Cosmochim.Acta, 28, 1964, S.437-446
- (42) SEMENOV, F.I. & PAVLENKIJ, K.I.: The composition of the rare earths in minerals.
Geochemistry, 1958, S.398-419

- (43) SEMENOV, E.I.: Die Mineralogie der Seltenen Erden (TÜ).
Akad. Wiss. UdSSR, Moskau 1963, 412 S.
- (44) TAYLOR, S.R.: Meteoritic and terrestrial rare earth abundance patterns.
Geochim. et Cosmochim. Acta, 26, 1962, S. 81
- (45) - Rare Earths (Lanthanide Series).
in: FAIRBRIDGE, R.W. (Hrsg.): The Encyclopedia of Geochemistry and Environment Sciences.
Van Nostrand Reinhold Co., New York 1972
- (46) TOWELL, D.G. et al.: Rare earth abundances in the standard granite G-1 and standard diabase W-1.
Geochim. et Cosmochim. Acta, 29, 1965
- (47) TRÖGER, E.: Der Gehalt an selteneren Elementen bei Eruptivgesteinen. Chem. d. Erde, 1934-35
- (48) UREY, H.C. & CRAIG, H.: The composition of the stone meteorites and the origin of the meteorites.
Geochim. et Cosmochim. Acta, 4, 1953, S. 36-82
- (49) VINOGRADOV, A.P. (Hrsg.): Chemistry of the Earth's Crust. I (1963)
Israel Program for Scientific Translations
Jerusalem 1966, 458 S.
- (50) - Chemistry of the Earth's Crust. II (1964)
Israel Program for Scientific Translations
Jerusalem 1967
- (51) WILDEMANN, T.R. & HASKIN, I.: Rare-earth elements in ocean sediments.
Jour. Geophys. Research, 70, 12, 1965, S. 2905-10

2. Lagerstätten und Bergbau

- (52) AGARD, J.: Les gîtes minéraux associés aux roches alcalines et aux carbonatites.
Sciences de la Terre, 4, für 1956, (1958), S. 105-51
- (53) AITSCHULER, Z.S. et al.: Rare earths in phosphorites - geochemistry and potential recovery.
U.S. Geol. Survey Prof. Pap., 575-B, 1967, S. 1-9
- (54) ANDERSON, A.L.: Thorium mineralization in the Lemhi Pass area, Lemhi County, Idaho.
Economic Geology, 56, 1, 1961, S. 177-197
- (55) Anonym: Recovery of Monazite.
Mining Journal, April 4, 1958
- (56) - Indians Heavy Mineral Sands.
Mining Journal, 253, 1959, S. 302
- (57) - The world's largest rare earth concentrating plant.
Mining Magazine, 118, 4, 1968

- (58) Anonym: Present and potential sources of rare earth minerals. Industrial Minerals, Nov.1968
- (59) - Flotation of monazite.
Mining Magazine, 122, 4, April 1970, S.323
- (60) BAILEY, D.K.: Carbonatites of the Rufunsa Valley, Feira District.
Northern Rhodesia Geol. Survey Bull., 5, 1960
- (61) BONDAM, J. & SÖRENSEN, H.: Uraniferous Nepheline Syenites and Related Rocks in the Ilimaussaq Area, Julianehaab District, SW Greenland.
in: United Nations: 2nd UN Internat. Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy; Proceedings, 2, S.555-559; Genf 1958
- (62) BOTTKE, H.: Zur montangeologischen Bewertung mariner Seifen. Bergbauwissenschaften, 17, 12, 1970
- (63) BOWIE, S.H.U.: The Uranium and Thorium Resources of the Commonwealth.
Jour. of the Royal Soc. of Arts, 107, 5038, 1959
- (64) CISSARZ, A. & BAUM, F.: Vorkommen und Mineralinhalt der Zinnerzlagertstätten von Bangka.
Geol. Jahrb., 77, 1960, S.541-580
- (65) COOPER, W.G.C.: The geology and mineral resources of Nyasaland.
Nyasaland Geol. Survey Dept. Bull., 3, 1957
- (66) CORDES, F.: Aufbau und Bildungsbedingungen der Schwermineralseifen bei Skagen.
Meyniana, 16, 1966, S.1-35
- (67) DEANS, T.: Economic Mineralogy of African Carbonatites. in: TUTTLE & GITTINS: Carbonatites. Interscience Publishers, London 1966
- (68) DeKUN, N.: On the Central-African Metallogenetic Province. Geol. Rdsch., 46, 1957
- (69) - The mineral resources of Africa.
Amsterdam 1965; 740 S.
- (70) EHRLICH, A.M.: Rare earth abundances in manganese nodules. Diss. Massachusetts Inst. of Technology, Dept. of Chemistry; Cambridge, Mass. 02139, 1968
- (71) ENGELHARDT, W.v.: Über die Schwermineralsande der Ostseeküste zwischen Warnemünde und Darßer Ort und ihre Bildung durch die Brandung.
Zeitschr. f. angew. Min., 1, 1939, S.30-59
- (72) FAUCHER, J.A.R.: Pyrochlore Concentration in Canada.
Mining Mag., Nov. 1964, S.345

- (73) FLINTER, B.J. et al.: A study of alluvial monazite from Malaysia.
American Mineralogist, 48, 11 u. 12, 1963
- (74) GILLSON, J.L.: Deposits of heavy minerals on the Brazilian coast.
Mining Eng., 187, 6, 1950
- (75) GOCHT, W.: Nebenprodukte der Zinn-Lagerstätten in Südostasien.
Erzmetall, 10, 9, 1967, S. 435-437
- (76) GRIFFITH, J.W. & ROSCOE, S.M.: Canadian resources of uranium and thorium.
Dept. Min. Tech. Surv., Min. Res. Div.,
Miner. Inf. Bull. MR 77, 1964, 12 S.
- (77) GUNDLACH, K.: Neuere Lagerstättenuntersuchungen auf der Kola-Halbinsel.
Zeitschr. f. prakt. Geol., 7, 1942
- (78) HEINRICH, E.W.: Economic geology of the rare-earth elements. Min. Mag., 98, 5, 1958
- (79) - The geology of carbonatites. Chicago 1966
- (80) HIGAZY, R.A. & NAGUIB, A.G.: A Study of the Egyptian Monazite-Bearing Black Sands.
in: United Nations: 2nd Internat. Conf. on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Proceedings 2, Genf 1958
- (81) HOLT, D.N.: The Kanganukunde Hill Rare Earth Prospect.
Geol. Surv. Dept, Zomba, Malawi, Bull., 20, 1965
- (82) IOHN, P.: Zur Einzelsortierung von Mineralien.
Aufbereitungstechnik, Nr. 2, 1970
- (83) JOHNSON, N.L.: Rare Earth Concentration at Molybdenum Corporation of America.
Deco Trefoil, Aug. Sept. Okt. 1966, S. 9-17
- (84) KARVE, V.M. et al.: Mineral Recovery From Beach Sands.
Mining Magazine, 114, 1, 1966
- (85) LANDES, K.K.: The Baringer Hill, Texas, Pegmatite.
American Mineralogist, 17, 1932, S. 381-390
- (86) LANG, A.H. et al.: Canadian deposits of uranium and thorium.
Canad. Geol. Surv., Econ. Geol. Ser. 16, ed. 2, 1962
- (87) LEONARDOS, O.H.: Monazit in Brasilien. (TÜ)
Engen. Miner. e Metal., Rio de Janeiro 1955
- (88) MacCONACHIE, H.: Mining Rare Metals in the Namaqualand Desert. Mining Mag., 97, 1, 1957
- (89) McLEOD, I.R.: The Australian Mineral Industry: The Mineral Deposits. 1965
- (90) MAGNEE, I de: L'avenir du thorium congolais.
Acad. Roy. Sci. Coloniales, Bull. d. Séances, 4, 2, 1958

- (91) MARSH, J.A.: Union Pacific's Raw Material Program.
Mining Congress Journal, 53, 6, 1967, S.20-24
- (92) MARSHINTSEV, V.K. & BALAKSHIN, G.D.: Nature of Carbonatite at the east flank of the Anabar Arch.
Doklady Akad.Nauk.SSSR, 188, 1969
- (93) MATHESON, R.S. & SEARL, R.A.: Mary Kathleen Uranium Deposit, Mount Isa-Cloncurry District, Queensland, Australia. Econ.Geol., 51, 1956, S.529-40
- (94) MELCHER, G.C.: The carbonatites of Jacupiranga, Sao Paulo, Brazil. in: TUTTLE & GITTINS: Carbonatites. Interscience Publ., London 1966
- (95) MOYAL, M.: Mauritania's Vast Mineral Wealth.
Mining Magazine, 118, 4, 1968
- (96) MURDOCK, T.G.: Mineral Resources of the Malagasy Republic. US Bur.of Mines Inf.Circ.8196, 1963
- (97) NININGER, R.D.: Geologic distribution of nuclear raw materials. in: United Nations: International Conf.on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Proceedings, Genf 1955
- (98) OLSON, J.C. et al.: Rare-earth mineral deposits of the Mountain Pass district, San Bernardino County.
U.S.Geol.Survey Prof.Pap.261, 1954, 75 S.
- (99) OVERSTREET, W.C.: The geological occurrence of monazite.
U.S.Geol.Surv.Prof.Pap.530, 1967, 327 S.
- (100) - et al.: Fluvial Monazite Deposits in the Southeastern United States.
U.S.Geol.Survey Prof.Pap.568, 1968
- (101) PECORA, W.T.: Carbonatites - a review.
Geol.Soc.of America, Bull., 67, 11, 1956
- (102) PRAY, L.C.: Rare Earth Elements in California.
Mining Magazine 97, Aug.1957, S.113-116
- (103) PULLAR, S.S.: Preconcentration for mineral sands.
Mining Magazine 109, Aug.1963, S.118-121
- (104) PUTZER, H.: Mineralische Rohstoffe in Mocambique.
Erzmetall, 23, 7, Juli 1970
- (105) RAO, Y.V.N. et al.: Recovery of economic minerals from India beach sands.
Mining Magazine, 110, 6, 1964, S.401-409
- (106) RICHARTZ, W.: Über kristallchemische Untersuchungen und magnetische Aufbereitung von Monazit.
Fortschr.Mineral., 39, 1961, S.53-59
- (107) ROSCOE, S.M.: Monazite as an ore mineral in Elliot Lake uranium ores.
Cand.Min.Jour., 80, 7, 1959, S.65-66

- (108) SALATIC, D. & MOISET, P.: Zur Trennung von Monazit und Columbit-Tantalit mittels der Flotation. Aufbereitungs-Technik, Nr.5, 1970
- (109) SAVAGE, C.N.: Economic geology of central Idaho blacksand placers. Id.Bur.Mines & Geol., Bull., 17, 1961
- (110) SCHNEIDERHÖHN, H.: Die Erzlagerstätten der Erde. Band II: Die Pegmatite. G.Fischer, Stuttgart 1961
- (111) SHARP, W.N. & CAVENDER, W.S.: Geology and Thorium-Bearing Deposits of the Lemhi Pass Area, Lemhi County, Idaho, and Beaverhead County, Montana. U.S.Geol.Survey Bull., 1126, 1963, 76 S.
- (112) SHIRKE, V.G. & CHATTERJI, B.P.: Monazite Sands of Bihar and West Bengal. in: United Nations: 2nd Internat.Conf.on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Proceedings, Genf 1958
- (113) SKINNER, W.R.: Skinner's Mining Yearbook. 1967
- (114) SMIRNOV, V.I.: Geologie der Lagerstätten mineralischer Rohstoffe. Leipzig 1970, 563 S.
- (115) STAATZ, M.H.: Geology and description of the thorium-bearing veins, Lemhi Pass quadrangle, Idaho and Montana. U.S.Geol.Survey Prof.Pap., 1351, 1971
- (116) TEMPLE, A.K. & GROGAN, R.M.: Carbonatite and related alkalic rocks at Powderhorn, Colorado. Econ.Geol., 60, 4, 1965, S.672-692
- (117) The British Sulfur Corp., Ltd.: A World Survey of Phosphate Deposits. 2nd ed., London 1964
- (118) THOREAU, J. et al.: Le gisement de terres rares de la Karonge (Urundi). Acad.Roy.Sci.Coloniales, Bull.Séances IV, 3, 1958, S.684-715
- (119) TOMKEIEFF, S.I.: Alkalic ultrabasic rock and carbonatites in the USSR. Intern.Geol.Rev., 3, 9, 1961
- (120) TUTTLE, O.F. & GITTINS, J.: Carbonatites. Interscience Publishers, London 1966
- (121) United Nations: Geology of uranium and thorium. Internat.Conf.Peaceful Uses Atomic Energy, Proc., 6, Genf 1955
- (122) - Survey of Raw Material Resources. 2nd Internat.Conf.Peaceful Uses Atomic Energy, Proc., 2, Genf Sept.1958
- (123) VIJAYKAR, S.V. & MAJUMDAR, K.K.: High-Tension Separation of Beach-Sand Minerals. Mining Magazine, 109, Sept.1963

- (124) VISWANATHAN, P.: Beach Sands in Travancore.
Mining Mag., 97, Nov. 1957, S. 313-315
- (125) - The Beach Sands of South India.
Mining Mag., 104, 1961, S. 245-247
- (126) - Flow-Sheet for Mineral Sands.
Mining Mag., Dez. 1961, S. 369-370
- (127) - et al.: Selective Flotation of Beach
Sand Monazite.
Mining Mag., Juli 1965, S. 17-23
- (128) WILLIAMS, F.A. et al.: Economic geology of the decom-
posed columbite-bearing granites, Jos Pla-
teau, Nigeria. Econ. Geol., 51, 1956, S. 303-32
- (129) WILLIAMS, F.A.: Performance analyses of screens, hydro-
cyclones, jigs and tables used in recovering
heavy accessory minerals from an intensely
decomposed granite on the Plateau, Nigeria.
Trans. Inst. Min. Metall., 67, 1957, S. 89-108
- (130) WOODCOCK, J.: Australian Beach Sands.
Mining Mag., Juli 1961, S. 54-57
- (131) - (Hrsg.): The Australian Mining, Metallurgical
and Mineral Industry. Melbourne 1965
- (132) WREFORD, P.M.: Mary Kathleen Uranium Ltd.
in: WOODCOCK (131)

3. Aufbereitungs- und Separationstechnologie, Metallдарstellung

- (133) Anonym: Scandium nears commercialization.
Chem. Eng. News, 37, 43, Okt. 1959, S. 82
- (134) BAUER, D.J. et al.: Liquid-liquid extraction of rare-
earth elements.
US Bur. Mines, Rept. of Investigations 5570, 1960
- (135) BAUER, D.J. & SHAW, V.E.: Metathesis of Bastnasite and
Solvent Extraction of Cerium.
US Bur. Mines, Rept. of Investigations 6381, 1964
- (136) BAUER, D.J. & LINDSTROM, R.E.: Naphthenic Acid Solvent
Extraction of Rare-Earth Sulfates.
US Bur. Mines, Rept. of Investigations 6396, 1964
- (137) BOCHINSKI, J. et al.: Separation of monazite rare
earths by solvent extraction.
Industr. Eng. Chemistry, 50, 1958
- (138) BRIL, K.J.: Mass extraction and separation.
in: EYRING, L. (Hrsg.): Progress in the science
and technology of the rare earths. 1
Macmillan, New York 1964

- (139) BRUGGER, W. & GREINACHER, E.: Ein Aufschlußverfahren für Erze der Seltenen Erden durch direkte Chlorierung bei hohen Temperaturen im Produktionsmaßstab.
Goldschmidt informiert..., 1, 6, 1969
- (140) CRONAN, C.S.: Processes and Technology. Which Process to Free Rare Earths From Raw Monazite Ore.
Chem. Eng., 66, 15, 1959, S. 62-64
- (141) EISELE, J.G. & BAUER, D.J.: Extraction and Separation of Rare-Earth Elements and Yttrium with Dodecyl Phosphoric Acid-Kerosine Solvent.
US Bur. Mines, Rept. of Investigations 6601, 1965
- (142) GRUZENSKY, W.G.: Extraction and separation of yttrium and rare-earth elements found in euxenite.
US Bur. Mines, Rept. Inv. 5910, 1961
- (143) GUPTA, J.S. et al.: Separation of Rare Earths Obtained from Indian Monazites. I: Separation of Ceria and Preparation of Lanthanum and Didymium Concentrates. II: Preparation of Pure Lanthanum Oxide from a Concentrate.
Jour. Scientific & Industr. Res., 20D, 4, 1961
- (144) HARRAH, H.W.: Rare Earth Concentration at Molybdenum Corp. of America. II: Solvent Extraction Plant.
Deco Trefoil, 31, 5, Nov. Dez. 1967, S. 9-16
- (145) HENRIE, T.A. & MORRICE, E.: A high-temperature electro-winning cell for rare earths.
Jour. of Metals, 18, 11, 1966
- (146) HILAL, O.M. & EL GOHARY, F.A.: Chlorination of Monazite.
Ind. & Eng. Chem., 53, 12, 1961
- (147) HIRSCHHORN, I.S.: Commercial Production of Rare Earth Metals by Fused Salt Electrolysis.
Jour. of Metals, März 1968
- (148) KAPLAN, G.E. & USPENSKAYA, T.A.: Investigations on alkaline methods for monazite and zircon processing. in: United Nations: Internat. Conf. Peaceful Uses Atomic Energy, 2nd, Proceedings, 3, Genf 1958; S. 378-382
- (149) KLEBER, E.V. & LOVE, B.: The Technology of Scandium, Yttrium and the Rare Earth Metals.
Oxford 1963, 205 S.
- (150) KRUESI, P.R. & DUKER, G.: Production of rare-earth chloride from bastnasite.
Jour. of Metals, 17, 8, 1965, S. 847-849
- (151) LASH, L.D. & ROSS, J.R.: Scandium Recovery from Uranium Solutions. Jour. Met. 13, 8, 1961, S. 555-558

- (152) LIMA-DE-FARIA, J.: Heat treatment of metamict euxenites, polymignites, yttrantalites, samarskites, pyrochlores, and allanites. Mineral Mag., 31, 1958, S.937-942
- (153) LINDSTROM, R.E. et al.: Effect of Temperature in Ion-Exchange Separation of Rare-Earth Elements and Recovery of EDTA from Effluent Solutions. US Bur.Min.Rept.Inv. 5879, 1961
- (154) LINDSTROM, R.E. & WINGET, J.O.: Hydrogen as a Retaining Ion for Rare-Earth Separation by Ion-Exchange with EDTA and DCTA. US Bur.Mines, Rept.of Inv. 6131, 1962, 18 S.
- (155) MERRILL, C.C. & WONG, M.M.: Electrorefining Yttrium. US Bur.Mines, Rept.of Inv. 7018, 1967, 10 S.
- (156) MORRICE, E. et al.: Electrowinning Molten Lanthanum from Lanthanum Oxide. US Bur.Mines, Rept.of Inv. 6075, 1962, 9 S.
- (157) MORRICE, E. & HENRIE, T.A.: Electrowinning High-Purity Neodymium, Praseodymium, and Didymium Metals from Their Oxides. US Bur.Mines, Rept.of Inv. 6957, 1967, 11 S.
- (158) ONSTOTT, E.I. et al.: Electrolysis and Extraction of Some Lanthanons from Aqueous Electrolytes with Lithium Amalgam. R.E.Res., 3, 1965
- (159) PEPPARD, D.F.: Fractionation of rare earths by liquid-liquid extraction using phosphorus-based extractants. in: EYRING, L.: Progress in the science and Technology of the rare earths. 1, Macmillan Co., New York 1964
- (160) POWELL, J.E.: The Separation of Rare Earths by Ion Exchange. in: EYRING, L.: Progress in the science and Technology of the rare earths. 1, Macmillan Co., New York 1964
- (161) RICE, A.C.: Chelating Agents in Separation of Rare-Earth Compounds by Solvent Extraction with Amines. US Bur.Mines, Rept.of Inv. 6205, 1963
- (162) ROSS, J.R. & SCHACK, C.H.: Recovery of Scandium from Uranium Plant Iron Sludge and from Wolframite Concentrates. US Bur.Min.Rept.Inv. 6580, 1965
- (163) RYABTCHIKOV, D.I. et al.: Separation of individual rare earth elements. in: United Nat.: Internat.Conf. Peaceful Uses Atomic Energy, 2nd, Proc., 4, Genf 1958

- (164) SHAW,V.E. & BAUER,D.J.: Extraction and Separation of Rare Earth Elements in Idaho Euxenite Concentrate. US Bur.Mines,Rept.of Inv. 6577, 1965
- (165) SHEDD,E.S. et al.: Continuous Electrowinning of Cerium Metal from Cerium Oxides.
US Bur.Mines,Rept.of Investigations 6362, 1964
- (166) SPEDDING,F.H. et al.: Preparation and Properties of High Purity Scandium Metal.
Trans.Met.Soc.,AIME,218,4, 1960, S.608-611
- (167) TOPP,N.E.: Modern Techniques for Separating the Rare Earth Elements.
Jour.Less-Common Metals,7,6, 1964
- (168) - The Chemistry of Rare Earth Elements.
Amsterdam 1965
- (169) TROMBE,F.: Séparations et purifications par voie sèche dans le groupe des terres rares.
R.E.Res.,3, 1965
- (170) WEAVER,B.: Liquid-liquid extraction of the rare earths. in: EYRING,L.: Progress in the science and technology of the rare earths.1.
Macmillan Co., New York 1964
- (171) WINGET,J.O.: Separation of the Lanthanide Series and Yttrium Using Phosphoric and Iminodiacetic Acid Resins. US Bur.Min.,Rept.Inv.6510,1964

4. Verwendung und Verbrauch

- (172) ANDERSON,W.K. et al.: Control Rod Economics.
Nuclear Sci. & Eng.,9,Jan.1961, S.1-15
- (173) Anonym: Rare-earth industry still expanding.
Chem. & Eng. News,45, 12.Juni 1967, S.46-48
- (174) - For Several Reasons - Some Obvious - Fake Diamonds Find Lots of Buyers.
N.Y.Times, 25.Dez.1969
- (175) - Low-Sulfur Steel Makes a Profit.
Iron Age, 16.Apr.1970, S.68-69
- (176) - Rare-Earth Fluorides Find Use as Solid Lubricants.
Product Engineering, 20.Juli 1970, S.79
- (177) - Cerium Concentrate Decolorizing.
The Glass Industry, I:Juli, II:Aug.,III:Sept. 1970
- (178) - CRT's Being Improved to Counter Competition.
Electronic Design, 20.Dez. 1970

- (179) Anonym: New Rare Earth Phosphor Material Improves Images in X-ray Tubes.
Am.Metal Market, 23.Dez. 1970
- (180) - Holmium Challenges Erbium as "Eye-Safe"
Laser Material. The Laser Rept.,Feb.1972
- (181) AVERBRUCH,M.A.: Les terres rares et leurs anciennes et nouvelles applications.
Chimie Ind.-Génie chim.,97,5, 1967
- (182) BALDWIN,W.J.: How to Use Electronic Ceramics Better.
Ceramic Ind., I: Aug., II: Sept. 1958
- (183) BARNARD,P.G.: Effects of Rare-Earth Additions on Plain-Carbon Steel.
US Bur.Mines, Rept.of Inv. 6907, 1967, 25 S.
- (184) BELT,R.F.: YAG:A Versatile Host.
Laser Focus Magazine, Apr.1970, S.44-47
- (185) BOLTON,R.L.: Temperature Compensating Ceramic Capacitors in the System Baria-Rare Earth Oxide-Titania.
University Microfilm,Ltd.,Ann Arbor (Mich.) 1968
- (186) BORCHARDT,H.J.: Rare Earth Phosphors.
Jour.Chem.Phys.,38,5, 1963
- (187) BUNGARDT,W.: SE-Metalle in Magnesium-Legierungen.
Goldschmidt informiert...,1,6, 1969
- (188) - SE-Metalle in Stahl,
Goldschmidt informiert...,1,6, 1969
- (189) - Gußeisen mit sphärolithischem Graphit.
Goldschmidt informiert...,1,6, 1969
- (190) CALLOW,R.J.: The Industrial Chemistry of the Lanthanons, Yttrium, Thorium and Uranium.
Pergamon Press 1967
- (191) CANNON,J.G.: The Rare-Earth Elements Are Ready For Industrial Applications.
7th RE Res.Conf.,II, 1968
- (192) DUNCAN,L.K.: Cerium Oxide for Glass Polishing.
Glass Industry,41,7, Juli 1960
- (193) EPPLER,R.A.: Formation of Praseodymium-Doped Zircon Colors in Presence of Halides.
Ind.Eng.Chem.,Prod.Res.Develop.,10,3, 1971
- (194) FAHLENBRACH,H.: Neuere Untersuchungsergebnisse bei intermetallischen Verbindungen aus Kobalt und Seltenen Erden.
Metall,26,7, Juli 1972, S.709-710
- (195) FEATHER,R.: Wachsende Verwendungsmöglichkeiten für Yttrium und Cerium.
Metall,26,7, Juli 1972, S.745-747

- (196) GELTMAN, G.: Fabricating Yttria Stabilized Zirconia.
Ceramic Age, 81, 1, 1965
- (197) GOTT, O.: Schutzglas beim Schweißen.
Deutsche Spiegelglas AG, Patent Nr. 913.096
8. Juni 1954
- (198) GRAY, J. M.: Metallurgy of High-Strength Low-Alloy
Pipeline Steels: Present and Future Possibilities.
Tech. Review for Metallurg. Task Group,
Northwest Project, Dallas, 18. Jan. 1972
- (199) - & WILSON, W. G.: Effect of Processing Variables
on the Properties of a Low-Carbon Columbium
Steel Proposed for Arctic Pipelines.
14th Mechanical Working & Steel Processing
Conf., AIME, Chicago, 19. Jan. 1972
- (200) GSCHNEIDNER, K. A. & KIPPENHAN, N.: Thermochemistry of
the Rare Earth Carbides, Nitrides and
Sulfides for Steelmaking.
Rare Earth Inf. Center, Inst. for Atomic
Res., Rept. IS-RIC-5, Iowa State University,
Aug. 1971
- (201) GÜNZEL, H. & KNÖRR, B.: Die wirtschaftlichen Auswirkungen
der Verwendung eines verbesserten Rot-
Leuchtstoffes für Farbbildröhren auf der
Basis europrium-aktivierter Yttriumverbindungen.
Metall, 20, 7, Juli 1966, S. 764-769
- (202) HAMPEL, C. A.: Rare Earths in the Glass Industry.
Glass Industry, 41, 3, 1960
- (203) HERGET, C.: Neue Permanentmagnetstoffe auf der Basis
von Kobalt-Seltenerd-Legierungen.
Goldschmidt informiert..., 1, 6, 1969
- (204) HERRING, A. P. et al.: The Use of Rare-Earth Oxides to
Give Color or Visible Fluorescence to Soda-
Lime Glasses. Am. Ceramic Soc., 70th Annual
Meeting, Glass Div., April 1968
- (205) HILGERS, W.: SE-Metalle in Kupfer und Kupfer-Legierungen.
Goldschmidt informiert..., 1, 6, 1969
- (206) HIRSCHHORN, I. S.: Use of Mischmetal in Steels. (abs.)
Ronson Metals Corp., (Inf.) 8, 1968
- (207) - Metallurgische Anwendungen der SE-Metalle
- allgemeine Übersicht.
Goldschmidt informiert..., 1, 6, 1969
- (208) - Metallurgical Applications of the Rare
Earth Metals. Modern Casting, Juni 1969
- (209) HIMES, R. C.: Rare Earths for Industrial Applications.
Mat. in Design Eng., 48, 6, 1958, S. 144-162

- (210) KNIGHT, R.J.: How Rare Earth Metals Affect Lead Distribution in Lead Bronzes.
Foundry, 90, 12, 1962, S.46-47
- (211) KOFFLER, R.L.: Rare Earths in Petroleum Cracking Catalysts. AICHe Materials Conference, Symp. on R.E. Applications, Preprint 11B, 1968.
- (212) KOMAREWSKY, V.I.: Catalytic Properties of Rare Earths. Ind. Eng. Chem., 49, 2, 1957
- (213) KREMERS, H.E.: The Rare Earth Industry. Jour. Electrochem. Soc., 96, 3, 1949
- (214) - A Progress Report: Industrial Applications of Rare Earths. Mining Eng., Apr. 1962
- (215) LASH, L.D.: Rare Earth Horizons. Jour. of Metals, Juli 1961, S.506-507
- (216) LEARY, R.J. et al.: Effects of Adding Rare-Earth Silicides, Aluminium and Cryolite to Molten Steel. US Bur. Mines, Rept. Inv. 7091, 1968
- (217) LEITEN, C.F. & BEAVER, R.J.: Use of Lanthanide Oxide Neutron Absorbers in Pressurized Water Reactors. Nuclear Applications, 4, 6, 1968
- (218) LEONTIS, T.E.: The Properties of Sand-Cast Magnesium-Rare-Earth Alloys. Jour. of Metals, 1, 12, 1949
- (219) LIBBY, W.F.: Promising Catalyst for Auto Exhaust. Science, 171, 5. Feb. 1971, S.499-500
- (220) LOW, N.M.P.: New Phosphors Converting Infrared Radiation to Visible Light of Bright Colors. Canadian Res. & Development, März-Apr. 1971, S.15-20
- (221) MANDLE, R.M. & MANDLE, H.H.: Uses and Applications. in: EYRING, L. (Hrsg.): Progress in the Science and Technology of the Rare Earths. 1. Macmillan Co., New York 1964
- (222) - Uses and Applications. in: EYRING, L. (Hrsg.): Progress in the Science and Technology of the Rare Earths. 2. Pergamon Press, London 1966
- (223) MARZULLO, S. & BUNTING, E.N.: Dielectric Properties of Titania or Tin Oxide Containing Varying Proportions of Rare-Earth Oxides. Jour. Am. Ceramic Soc., Jan. 1958, S.40-41
- (224) MASON, J.: The New Color Tubes! Radio-Electronics, Jan. 1970, S.33-35
- (225) MIALKI, W.: Seltene Erden in der Kerntechnik. Metall, 19, 1, Jan. 1965, S.16-21

- (226) Molybdenum Corp.of America: Six Years of Research in Catalysis with the Rare Earth Elements (1964-1970). A Bibliography. Application Rept.7101, 1971
- (227) - TV Phosphors aren't just TV Phosphors Anymore. Overview 28, 1971
- (228) - Opportunities in improving the alkali resistance of glasses. Molycorp Overview 2, 1968
- (229) MORRITZ,F.L. & BRADSTREET,S.W.: Catalyst Coatings. IIT Res.Inst.,The Frontier (Armour Res.), Chicago 1957, S.4-8
- (230) NASSAU,K.: Rare earths in optical maser materials. in: VORRES (Hrsg.): Third R.E.Res.Conf.II,1964
- (231) PALILLA,F.C.: Recent Developments in Rare Earth Phosphors. Electrochemical Soc., 7.-12.Mai 1971
- (232) PARKER,J.G.: Rare Earth Uses. 7th Rare Earth Res.Conf.,II, 1968, S.715-726
- (233) PASHOS,T.J.: Materials For Control of Water Cooled Power Reactors. 12th Annual Meeting, Am. Nucl.Soc., Denver, 5.Dez.1967
- (234) PINGS,W.B.: Rare Earths in Glass. Glass Technology Lab., Colo.School of Mines, Res.Foundation, 9.Dez.1966
- (235) PLOETZ,G.L.: Ceramic Materials for Nuclear Reactor Controls and Poison. Am.Ceramic Soc.Bull.,39, 1960, S.362-365
- (236) RENNARD,R.J.: Rare Earth Phosphates for the Hydrolysis of Arylchlorides. Pittsburgh Catalysis Soc.Spring Symposium, 22.März 1972
- (237) Ronson Metals Corp.: References to Rare Earth Metals in Non-Ferrous Alloys. (Inf.-)Blatt 4,67,(3)
- (238) - Uses of Cerium (Mischmetal) in Ductile Iron Production. (Inf.-)Blatt 10,68, Nr.4
- (239) RUH,R. et al.: The Zirconia-Yttria System. 70th Annual Meeting, Am.Ceramic Soc., Basic Science Div.Paper 65-B-68, 24.Apr.1968
- (240) SCHWARTZBART,H. & SHEEHAN,J.P.: Rare Earths Improve Impact Properties of 4330. Iron Age, 26.5.1955, S.103-106
- (241) SCLAR,N.: Unijunction Devices From Rare Earth Semiconductors. Nucl.Corp.Am., Quarter.Rept.,2, Apr.-Juni 1961

- (242) SHER, A. & SOLOMON, R.: Rare Earth Fluoride Capacitors.
U.S. Patent 3,375,420, 26. März 1968
- (243) SHUTT, T.C. et al.: Rare Earths in Glass.
Canadian Ceram. Soc., Ann. Meeting, 15.-17. Feb. 1971
- (244) SJOBLÖM, J.J.: An investigation of potential laser
crystals containing rare earth dopants.
in: VORRES (Hrsg.): 3. R.E. Res. Conf., II, 1964
- (245) STRNAT, K.J.: Rare Earth-Cobalt Permanent Magnets.
7th R.E. Res. Conf., 1, 1968, S. 27-28
- (246) TAWARA, Y. & SENNO, H.: Cerium, Cobalt, and Copper
Alloy as a Permanent Magnetic Material.
Japan Jour. of Appl. Physics, 7, 1966, S. 966-967
- (247) THROCKMORTON, M.C.: Comparison of Cerium and Other
Transition Metal Catalyst Systems for
Preparing Very High cis-1,4-Polybuta-
diene. Kautschuk & Gummi Kunststoffe,
22, 6, 1969, S. 293-297
- (248) TRUDEAU, D.L. & FREIER, E.F.: Determination of Calcium
in Urine and Serum by Atomic Absorption
Spectrophotometry (AAS).
Clinical Chemistry, 13, 2, Feb. 1967, S. 101-113
- (249) TUCKER, H.A. et al.: Rare-Earth Silicide Additions to
an Alloy Steel to Increase Toughness and Duct-
ility. US Bur. Min., Rept. Inv. 7153, Juni 1968
- (250) Union Carbide Corp.: New Cerium-Bearing Nodularizer
Developed for Ductile Iron.
Mining & Metals Div., Alloy Evaluation
Report F68-043, Juni 1968
- (251) YOCUM, P.N. & SHRADER, R.E.: Cathodoluminescent Power
Efficiency of Some Rare Earth Oxysulfide Phos-
phor Systems. 7th R.E. Res. Conf., 2, Okt. 1968

5. Übergreifende und Sonstige Literatur

- (252) Anonym: Nuclear Metals. Thorium, the Lanthanons,
Yttrium. Mining Ann. Rev. 1958 bis 1960
- (253) - Thorium and the Lanthanons.
Mining Annual Review 1961 bis 1964
- (254) - The Rare Earths and Associated Elements.
Mining Journal, 19. Jan. 1962, S. 67 u. 69
- (255) - Developments in Rare Earth Elements.
Mining Magazine, 112, Juni 1965, S. 419 u. 421
- (256) - Thorium and the Rare Earths.
Mining Annual Review 1965 bis 1971

- (257) Anonym: Guideposts for the future.
Metals Week, 4.Jan.1971, S.16-19
- (258) BASSIE,L.V.: Economic Forecasting. New York 1958
- (259) CANNON,J.G.: Bastnasite. Min.Eng.,Jan,1969,S.53-54
- (260) DAVIDSON,C.F.: The Economic Geology of Thorium.
Mining Magazine, Apr.1956, S.197-208
- (261) Department of Mines Malaysia: Quarterly Bulletin of
Statistics of the Mining Industry.
- (262) ELLINGHAUS,U.W.: Die Grundlage der Theorie der Preis-
differenzierung.
J.C.B. Mohr, Tübingen 1964, 275 S.
- (263) EYRING,L.(Hrsg.): Progress in the science and techno-
logy of the rare earths. Macmillan Co.,
New York, Bd.1: 1964; 2: 1966; 3: 1968
- (264) FARIN,P.(Hrsg.): Market Guide. Rare Earths.
Eng.& Min.Jour.,Mineral & Metal Markets,
26.Dez.1966
- (265) GERFIN,H.: Langfristige Wirtschaftsprognose.
J.C.B.Mohr mit Polygraphischer V.,1964, 204 S.
- (266) GIERSCH,H. & BORCHARDT,K.: Diagnose und Prognose als
wirtschaftswissenschaftliche Methodenprobleme.
Verhandl.Arbeitstagung d.Vereins f.Socialpo-
litik in Garmisch-Partenkirchen 1961,
Berlin 1962
- (267) GOCHT,W.: Die Aufgaben der modernen Wirtschaftsgeolo-
gie. Erzmetall,22,6, 1969, S.297-300
- (268) GSCHNEIDNER,K.A.: Rare Earths. The Fraternal Fifteen.
USAEC,Div.of Technical Information
Extension, Oak Ridge 1966, 46 S.
- (269) KADE,G.: Die Grundannahmen der Preistheorie.
Franz Vahlen, Frankf.a.M./Berlin , 176 S.
- (270) KELLY,F.J.: Technological and economic problems of
rare-earth-metal and thorium resources in
Colorado, New Mexico, and Wyoming.
US Bur.Mines Inf.Circ.8124, 1962, 38 S.
- (271) KIEFFER & JANGG & ETTMAYER: Sondermetalle.
Springer, 471 S., Wien/New York 1971
- (272) KLEBER,E.V.: Rare Earth Research.
Macmillan, New York 1961, 313 S.
- (273) KRUESI,P.R.: Rare Earths. Eng.& Mining Jour.,
Feb.1967; März 1968; März 1969
- (274) LOMAS,J.: Cerium. Cand.Min.Jour.,78,1957,S.115-116
- (275) Molybdenum Corp.of America: 1971 annual report.
1972, 12 S.

- (276) NININGER, R.D.: Minerals for atomic energy.
Van Nostrand, New York 1955, 367 S.
- (277) OTIS, W.A.: Rare Earths.
Eng. & Mining Jour., 1965 und Febr. 1966
- (278) OTT, A.E. (Hrsg.): Preistheorie.
Kiepenheuer & Witsch, Köln/Berlin 1965
- (279) RECKTENWALD, H.C.: Zur Lehre von den Marktformen.
Weltwirtschaftl. Archiv, 67, 1951, II,
S. 298-326
- (280) REUTHER, E.U. & DOHMEN, A.: Methoden und Probleme
wirtschaftlicher Vorhersage.
Erzmetall, 23, 9, 1970, S. 422-427
- (281) RIEBEL, P.: Die Kuppelproduktion. Betriebs- und Markt-
probleme. 1955
- (282) ROBERTS, S.R.: Rare Earths. Eng. & Mining Jour.,
Feb. 1963 und Feb. 1964
- (283) ROTHSCILD, K.W.: Price Theory and Oligopoly.
The Economic Jour., 57, 1947, S. 299-320
- (284) - Wirtschaftsprognose. Methoden und Probleme.
Springer, Berlin/Heidelb./N.Y. 1969
- (285) SAMES, C.W.: Die Zukunft der Metalle.
Suhrkamp, Frankfurt a.M. 1971
- (286) SANDERSON, L.: Lanthanum.
Cand. Min. Jour., 78, 1957, S. 111-112
- (287) - Yttrium and ytterbium.
Cand. Min. Jour., 81, 7, 1960
- (288) SCHÖPF, A.: Das Prognoseproblem in der Nationalökonomie.
Berlin 1966
- (289) SCHREITER, W.: Sondermetalle.
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie,
Leipzig 1961
- (290) SOMMERLATTE, H.W.A.: Neue Metalle.
Erzmetall, 22, 3, 1969, S. 103-111
- (291) SPEDDING, F.H. & DAANE, A.H. (Hrsg.): The Rare Earths.
New York 1961, 641 S.
- (292) STIGLER, G.J.: The Kinky Oligopoly Demand Curve and
Rigid Prices. The Jour. of Political Economy,
55, 1947, S. 432-449
- (293) - & KINDAHL, J.K.: The Behavior of Industrial
Prices. National Bureau of Economic Res.,
New York 1970
- (294) STRNAT, K. & WEIK, H.: Yttrium, Scandium und die Selte-
nen Erden. Ein Überblick über den Stand der For-
schung. II. Metall, 14, Dez. 1960, S. 1163-1170

- (295) SWEEZY, P.M.: Demand Under Conditions of Oligopoly.
The Jour. of Political Econ., 47, 1939, S. 568-573
- (296) THEIL, H.: Applied Economic Forecasting. Chicago 1966
- (297) TRIFONOV, D.N.: The Rare Earth Elements.
Pergamon Press, Oxford etc. 1963, 128 S.
- (298) United Nations: Technology and Uses of Beryllium,
Cesium, Germanium, Hafnium, Niobium (Columbi-
um), Rare Earths (Including Yttrium and Scan-
dium), Tantalum, Titanium, and Zirconium.
E/CN.14/MIN/8, 29. Jan. 1968
- (299) US Dept. of the Interior, Bureau of Mines: Minerals
Yearbook, 1948 bis 1971
- (300) US Dept. of the Interior, Bureau of Mines, Division
of Nonferrous Metals: Commodity Data Summa-
ries 1971. Rare Earth Metals. Washingt. 1972
- (301) WETZEL, W.: Statistische Methoden der Zeitreihenana-
lyse und ihre praktischen Anwendungsmöglich-
keiten. Allg. statist. Archiv, 53, 1969, S. 3-34
- (302) WILKE, A.: Uran und Thorium. in: BISCHOFF & GOCHT:
Das Energiehandbuch. Vieweg, 1970, S. 151-176

Lebenslauf

Zur Person: Günter Kroß, geb. am 1.7.1944 in Jagow bei Prenzlau.

Vater: Willi Kroß, geb. am 22.7.1913 in Greifswald; von Beruf Rundfunkmechanikermeister.

Mutter: Elli Kroß, geb. Manal, am 27.9.1915 in Lodz geboren, Hausfrau.

Bildungsgang: Grundschule anfangs in Prenzlau, später in Berlin-Neukölln. Dort anschließend für sieben Jahre Besuch der 5.O.W.Z. (Albert-Einstein-Schule). Am 28.2.1963 Abschluß des mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweiges mit dem Abitur.

Am 22.4.1963 Immatrikulation an der FU Berlin, Fachrichtung Geologie-Paläontologie. Darin Diplomvorprüfung am 25.5.1966 und Diplomhauptprüfung am 12.3.1969 bestanden. Thema der Diplomarbeit: "Geologie des westlichen Netratals unter besonderer Berücksichtigung der Stratigraphie des Mittleren Buntsandsteins."

Anstellungen: vom 1.8.1969 bis 31.3.1971 Forschungsassistent, seit dem 1.6.1971 Wissenschaftlicher Tutor am Institut für Geologie der FU Berlin.

Meine akademischen Lehrer waren:

Arndt(Vwl.), Behrens(Bwl.), Bischoff(Geol.), Brandenburg(Zool.), Brühl(Hydrogeol.), Dohle(Zool.), Eckardt(Botan.), Franke (Mineral.), Frydrych(Anorg.Ch.), Funk(Anorg.Ch.), Germann (Angew.Geol.), Giese(Geoph.), Gnichtel(Org.Ch.), Gocht(Geol.), Grimm(Angew.Geol.), Hövermann(Geogr.), Ibbeken(Geol.), Jahr (Anorg.Ch.), Kühne(Paläont.), Kümmel(Zool.), Liedholz(Geol.), List(Photogeol.), Mehnert(Miner.), Münzner(Statistik), Nikolinakos(Vwl.), Reinert(Botan.), Reutter(Geol.), Richter (Geol.), Schneider(Angew.Geol.), Willgallis(Miner.).

